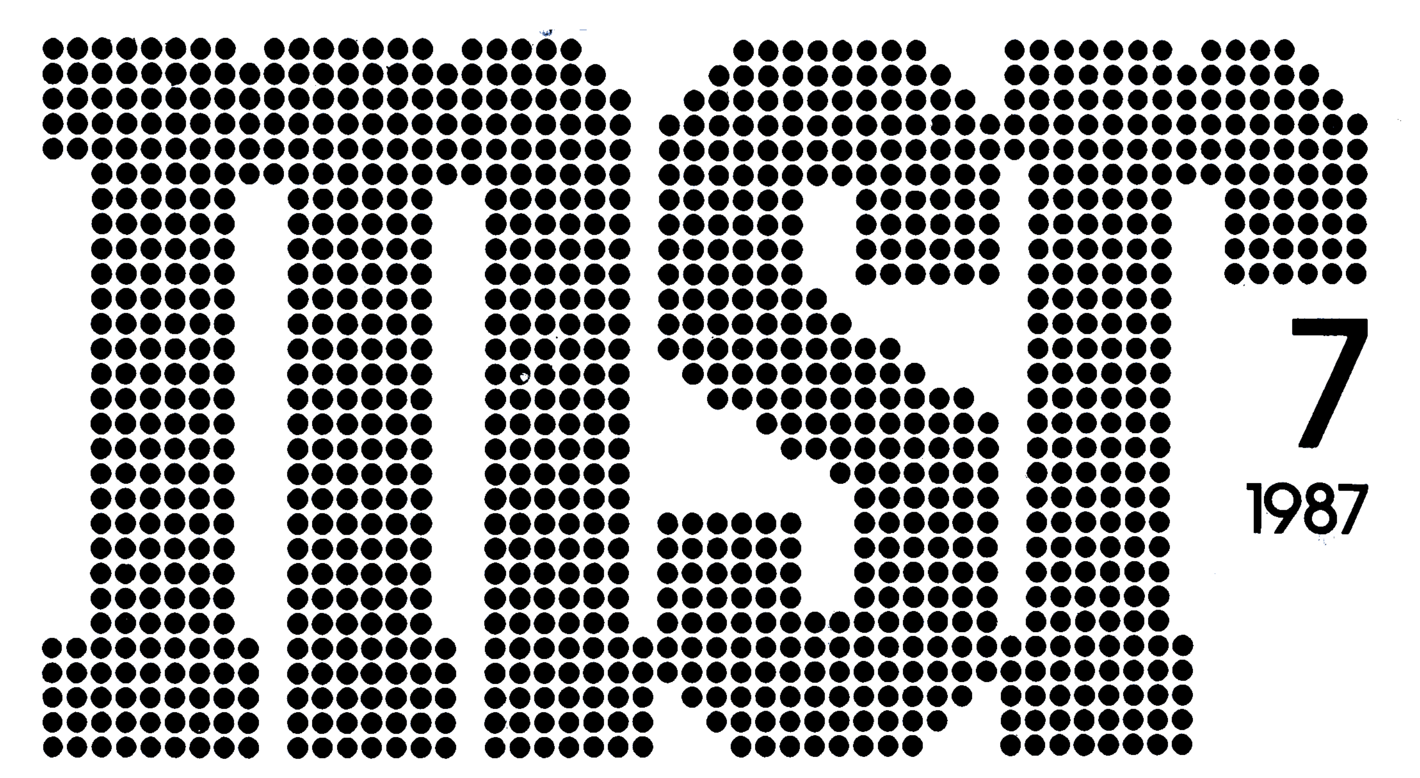


7
1987

messen · steuern · regeln

Detektor

Äquipotentiallinien

Sekundärelektronen

0V

5V

0V

Leiterbahnen

Objekt



VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,- M

Kürzlich erschienen

Überdrucksicherungen für Behälter und Rohrleitungen



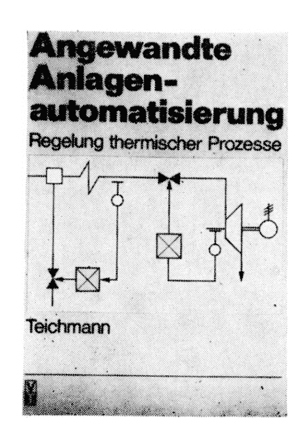
Von Dr. Géza Bozóki. Erweiterte und aktualisierte Übersetzung aus dem Ungarischen. 1. Auflage. 432 Seiten, 484 Bilder, 93 Tafeln, Kunstleder, DDR 58,— M, Ausland 68,— DM. Bestellangaben: 553435 6/Bozóki, Überdruck

Bei vielen technologischen Verfahren, z. B. in der Chemie- und Lebensmittelindustrie, der Erdöl- und Erdgasindustrie und in Kraftwerken, laufen die erforderlichen Reaktionen in geschlossenen Anlagensystemen bei einem vom atmosphärischen Druck abweichendem Druck ab. Aufgrund innerer oder äußerer Betriebsstörungen können in diesen Anlagen gefährliche Überdrücke entstehen, die durch geeignete Sicherheitseinrichtungen auf den zulässigen Wert reduziert werden müssen, damit keine Explosionsschäden auftreten.
In der vorliegenden, aus dem Ungarischen übersetzten und für die deutschsprachige Ausgabe vom Autor überarbeiteten und ergänzten Monographie werden die zur technischen Lösung der Überdrucksicherung erforderlichen Kenntnisse zusammengefaßt. Zunächst werden die den gefährlichen Überdruck hervorrufenden Störungen sowie die Bestimmungsmethoden der dadurch entstehenden und durch die Überdrucksicherung abzuleitenden Gas- oder Flüssigkeitsströme behandelt. Ausführungen über die Bauformen und die Dimensionierung der an der Austrittseite der Überdrucksicherungen anzuschließenden Abblaser, Kammern, Fackeln, Absorber und Sammelbehälter leiten über zu den den Hauptteil des Buches ausmachenden Abschnitten über die verschiedenen Ausführungen der Sicherheitsventile, Berstscheiben und Sicherheitsstandrohre. Deren Wirkungsweise und Konstruktion wird beschrieben, ihre Betriebsweise, Auslegungs- und Prüfmethoden werden erläutert sowie Hinweise zum Einbau, zur Bedienung und Wartung gegeben.
Im Anhang werden dem Leser ein dreisprachiges Vokabular der Fachbegriffe, ferner Stoffkennwerte von Gasen, Dämpfen und Flüssigkeiten sowie Widerstandsbeiwerte von Armaturen und Rohren als Arbeitsmaterial angeboten.
Ein umfangreiches Literaturverzeichnis (530 Quellen) bietet einen fast vollständigen Überblick über die internationale Literatur des Fachgebietes.

Zur Zeit noch lieferbar

Angewandte Anlagenautomatisierung

Regelung thermischer Prozesse



Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Teichmann. 1. Auflage. 268 Seiten, 303 Bilder, 19 Tafeln, Leinen, DDR 28,— M, Ausland 38,— DM. Bestellangaben: 553191 3/Teichmann, Anlagen

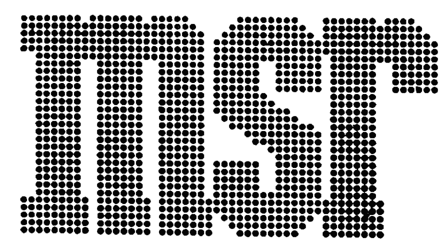
Betriebsweise, Betriebsverhalten sowie die Gestaltung technologischer Anlagen haben einen direkten Einfluß auf notwendige Regelungskonzeptionen. Am Beispiel von Dampferzeugern, Dampfturbinen, Sammelschienen- und Blockkraftwerken sowie von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen werden die Zusammenhänge zwischen dem statischen und dynamischen Verhalten wärmetechnischer Prozesse und den Aufwendungen für erforderliche Regelungseinrichtungen dargestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Übergangsverhalten der jeweiligen Regelstrecken und den in der Praxis häufig angewendeten Regelungsverfahren gewidmet.

Aus dem Inhalt:
Überblick zu ausgewählten Grundlagen der Regelungs-, Meß- und Stelltechnik · Regelung von Dampferzeugungsanlagen · Regelung von Dampfturbinenanlagen · Regelung von Wärmekraftwerken · Übersicht zur Regelung von Heizungs- und Klimaanlagen.
Sehr geeignet ist das Buch auch für die Studenten technischer Fachrichtungen im Hinblick auf die Gestaltungs- und Funktionsweise von Regelungsanlagen zur Sicherung eines technisch und ökonomisch effektiven Betriebsverhaltens der technologischen Anlagen.

Im Fachbuchhandel erhältlich

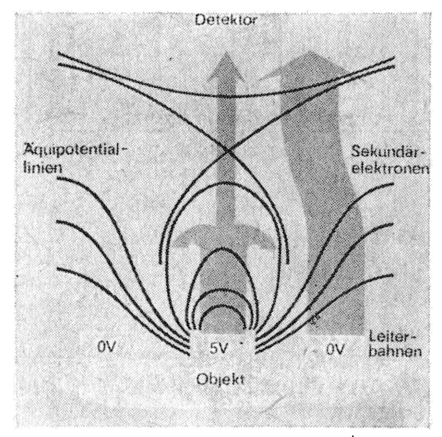


VEB VERLAG TECHNIK BERLIN



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



International werden verstärkt nichtkonventionelle Mikroskopieverfahren auf der Basis optischer und nichtoptischer Effekte entwickelt. Dabei werden neue Möglichkeiten einer Visualisierung und Vermessung kleiner sichtbarer und verdeckter Objekte sowie elektrischer Meßgrößen geschaffen. Unser Titelbild zeigt das Prinzip der Potentialkontrastmessung, mit der in einem Rasterelektronenmikroskop elektrischer Ladungen im Meßobjekt sichtbar gemacht werden.
Näheres zu diesen Meßverfahren finden Sie in unserem Beitrag auf S. 290.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

7

30. Jahrgang
Juli 1987

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

L. Zipser; K. Franke

Zur Bildaufnahme in der Meßmikroskopie

0. Einleitung

In der Mikroelektronik, Mikromechanik, Medizin und zur Werkstoffanalyse werden hochauflösende Verfahren zur Abbildung und Messung kleinster Objekte benötigt. Solche Mikroskopieverfahren werden auf der Basis optischer und nichtoptischer Effekte international forciert entwickelt. Neuere Ergebnisse sind potentiellen Anwendern häufig unbekannt.
Hier sollen in einer Übersicht mikroskopische Bildaufnahmeverfahren für geometrische, elektrische und andere quantitative Meßgrößen vorgestellt, ihre Leistungsgrenzen abgeschätzt und Anwendungsmöglichkeiten genannt werden.

1. Struktur der Meßsysteme

Die Struktur moderner mikroskopischer Meßsysteme zeigt Bild 1. Ein Bildaufnahmesystem (BAS) tastet im Scanning-Verfahren die zu vermessende Objektfläche punktweise ab. Es entstehen Rasterbilder, deren Bildpunkte (Pixel) diskrete Grauwerte haben. Die digitalisierten Bilder werden von einem Bildverarbeitungssystem (BVS) [1] und [2] verarbeitet, um Strukturelemente oder Funktionsmerkmale des Objektes zu messen, zu erkennen, zu zählen und/oder kontrastreich darzustellen [3] und [4].
Das ist ungleich komplizierter und aufwendiger als die Wiedergabe von Bildern im Fernsehen. Trotzdem kann auf die maschinelle Bildverarbeitung in der Meßmikroskopie immer weniger verzichtet werden. Sie gestattet es,

- große Bildinformationsmengen zu bewältigen
- Meßzeiten und Meßfehler zu reduzieren
- subjektive Einflüsse von Meßpersonen zu verringern
- unterschiedliche Bildaufnahmeverfahren zu kombinieren
- aufwendige Verfahren der Meßwertberechnung (z. B. zweidimensionale Fourier-Transformation) anzuwenden.

Die volle Nutzung dieser Möglichkeiten scheitert oft noch an der begrenzten Leistungsfähigkeit der Hard- und Software der BVS. Hier sind Fortschritte zu erwarten.
Über Terminal und Rechner werden die Abläufe von Bildaufnahme- und Meßprozeß interaktiv gesteuert und korrigiert.

2. Optische Bildaufnahme

2.1. Lichtmikroskopie (LM)

Lichtmikroskope sind technisch ausgereift und in der Meßmikroskopie vielfältig nutzbar. Mit einem Lichtmikroskop lassen sich durch verschiedene Beleuchtung (Hell-, Dunkelfeld usw.) Objektdetails in geometrisch gleichen Bildern unterschiedlich hervorheben. Diese zunächst homogenen Bilder werden von einer elektronischen Kamera mit AD-Umsetzer digitalisiert, zum BVS übertragen und dort überlagert, bearbeitet und vermessen. Die Qualität der Bildaufnahme hängt von der Güte der Kamera ab.
Elektronenstrahlkameras (z. B. Saticon) lassen sich zwar bei hochauflösenden Abtastraten betreiben [5] bis [7], jedoch wirken sich

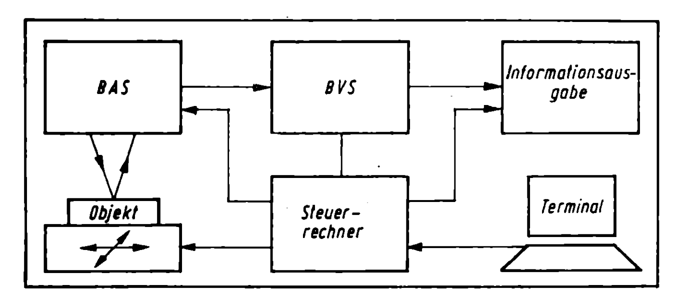


Bild 1. Struktur der Meßsysteme
BAS Bildaufnahmesystem; BVS Bildverarbeitungssystem

- begrenzte Stabilität der Grauwerte
- geometrische Verzerrungen
- instabile Zuordnung von Bild- zu Objektpunkten

ungünstig auf Auflösung und Meßgenauigkeit aus.
Festkörperkameras (CCD, DID, SSPD [8]) empfehlen sich für die Bildaufnahme wegen ihrer

- hohen Stabilität der Grauwerte (8 ... 10 bit auflösbar)
- festen Zuordnung von Bild- zu Objektpunkten
- hohen Empfindlichkeit für Wellenlängen über 400 nm
- extremen Überbelichtungsfestigkeit.

Nachteilig gegenüber Elektronenstrahlkameras sind niedrigere Pixelzahlen (z. B. 380 × 488), die die Auflösung begrenzen. Hochauflösende CCD-Kameras mit 1024 × 1024 Pixeln [9] und [10] sind noch selten. Außerdem haben Festkörperkameras meist nichtquadratische Pixel, so daß bei unkorrigierter Verarbeitung der Rasterbilder Geometriefehler auftreten [11].
Die Bildverarbeitung beginnt oft mit einer Shading-Korrektur [12] und [13], um Ungleichmäßigkeiten von Kamera und Objektbeleuchtung zu eliminieren. Zum Beispiel hängen die Empfindlichkeiten der Pixel einer CCD-Kamera unterschiedlich von Temperatur und Wellenlänge ab [8] [14] und [15].
Bei Lichtmikroskopen wird die laterale Auflösung von Wellenlänge und Apertur begrenzt [16]. Sie beträgt etwa 0,5 μm. Darüber hinaus können an Böschungen und Kanten des Objektes unregelmäßige Brechungen, Streuungen und Interferenzen auftreten und die Auflösung verschlechtern. Mit der Bildverarbeitung lassen sich der Kontrast unscharfer Konturen und durch Überlagerung (image shearing) Auflösung und Meßgenauigkeit verbessern [17].

2.2. Laser-Scanning-Mikroskopie (LSM)

Bei Beleuchtung von Objekten mit Laserlicht ist bereits mit niedriger Laserleistung eine hohe Lichtintensität erreichbar. Gleichzeitig minimiert sich die thermische Belastung des Objektes, wenn die spektrale Empfindlichkeit der Kamera an die Wellenlänge des Lasers angepaßt ist. Eine flächenhafte Beleuchtung des Objektes mit kohärentem Laserlicht führt jedoch zu Interferenzen, die unerwünschte Fleckenbilder (speckle pattern) entstehen lassen. Solche Fleckenbilder werden bei der LSM unterdrückt. Dazu wird der Laserstrahl auf das Objekt fokussiert. Das Objekt moduliert den hindurchtretenden bzw. reflektierten Laserstrahl, der von einem Detektor (z. B. Avalanche-Fotodiode) aufgenommen wird. Ein flächenhaftes Bild entsteht, wenn der Laserstrahl [18] und [19] oder das Objekt [20] und synchron dazu der Strahl einer Bildröhre zeilenweise ausgelenkt werden und das Detektorausgangssignal die Helligkeit der Bildröhre steuert (Bild 2). Die laterale Auflösung bei der LSM hängt

---

Dr. sc. techn. *Lothar Zipser* (43) lernte Elektromechaniker und studierte von 1962 bis 1968 Elektrotechnik an der TU Dresden. 1976 Promotion A an der TU Dresden. 1986 Promotion B zu Problemen der Modellierung fluidischer Oszillatoren und ihrer Anwendung bei der Sensorentwicklung. Zur Zeit wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW.

Dr. rer. nat. *Kurt Franke* (45) studierte von 1961 bis 1966 an der TU Dresden Physik. Bis 1968 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ASMW auf dem Gebiet der Gamma-Dosimetrie. Anschließend bis 1978 Tätigkeit bei ZFT Robotron auf den Gebieten Holographie und optische Zeichenerkennung. 1978 Promotion A. Gegenwärtig wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung der AdW.

hauptsächlich vom Querschnitt des Laserflecks auf dem Objekt ab. Bisher wurden Auflösungen um 0,5 µm erreicht. Das entspricht der Auflösung bei der LM. Sie ist aber nicht durch das dort gültige Rayleigh-Kriterium begrenzt [16]. Beispielsweise soll sich bei LSM die Auflösung durch kleine Lochblenden ($d = 10$ µm) vor dem Detektor um den Faktor 2 verbessern lassen [20].

Weitere Vorteile der LSM sind:

- 50 ... 1000fache Vergrößerung ohne Kontrastverlust möglich
- hohe Beleuchtungsintensität (100 kW/cm^2)
- Grauwerte in 8 bit auflösbar
- Streulicht kann durch Filter abgeschirmt werden
- keine Shading-Korrektur erforderlich
- Tiefenschärfe beträgt 32 ... 0,9 µm [18].

Als Nachteil kann sich die längere Bildaufbauzeit (0,5 ... 32 s) erweisen. Ultraschnelle LS-Mikroskope [21] sind Sonderfälle. Die Meßgenauigkeit bei LSM wird durch die Präzision des Scanning-Systems bestimmt. In den ersten kommerziellen LSM sind elektronisch gesteuerte Spiegel zum Strahlscanning eingesetzt [18] und [19].

2.3. *Phasenempfindliche LSM*

In [22] wird vorgeschlagen, die LSM zur Messung kleinster Höhenunterschiede zu nutzen. Dazu wird der Laserstrahl von einer Bragg-Zelle (Deflektor) in einen gebeugten und einen ungebeugten Strahl aufgeteilt (Bild 3). Der ungebeugte Teilstrahl behält seine Frequenz f_0. Der gebeugte Teilstrahl wird in Abhängigkeit von der Bragg-Frequenz f_B ausgelenkt und seine Frequenz um den Betrag f_B erhöht. Beide Teilstrahlen treffen auf das Objekt, werden reflektiert, durchlaufen rückwärtig die Bragg-Zelle und werden erneut aufgeteilt. Ein Teil des bisher ungebeugten Strahls wird jetzt gebeugt und hat dann die Frequenz $f_0 - f_B$. Ein Teil des bereits gebeugten Strahls bleibt ungebeugt und behält seine Frequenz $f_0 + f_B$. Die Strahlen mit den Frequenzen $f_0 - f_B$ und $f_0 + f_B$ interferieren und ergeben am Detektor ein Signal, aus dessen Phase Höhenunterschiede zwischen den Auftreffpunkten der Strahlen am Objekt berechenbar sind.

Die vertikale Auflösung beträgt 10 nm, die laterale Auflösung liegt bei 1 µm. Die Abtastung des Objektes erfolgt zeilenweise durch Verändern der Bragg-Frequenz f_B. Eine Zeile ist etwa 0,1 mm lang. Da bei diesem Interferenzverfahren Meß- und Referenzstrahl am Objekt reflektiert werden, ist die phasenempfindliche LSM gegen mechanische Erschütterungen weitgehend unempfindlich.

Die phasenempfindliche LSM ist in Entwicklung. Ihre Leistungsfähigkeit kann noch nicht abschließend bewertet werden.

2.4. *OBIC-Verfahren*

Die LSM ist zur Schaltungsanalyse an mikroelektronischen Bauelementen nutzbar. Trifft ein Laserstrahl auf einen Chip, erzeugt er in ihm Elektronen-Loch-Paare. Diese Ladungsträger lassen sich durch die Diffusionsspannungen an pn-Übergängen trennen, als Probenstrom nachweisen und zur Helligkeitssteuerung einer Bildröhre nutzen (Bild 2). Mit diesem OBIC-Verfahren (optical beam induced current) ist es möglich [18] [23] und [24],

- Halbleiterparameter (Diffusionslänge, Dotierungskonzentration) zu bestimmen
- Schwachstellen (Leckströme, hot spots, Latch-up-Effekt) in Schaltkreisen zu lokalisieren
- das elektrische Verhalten von Schaltkreisen (Logikzustände, Frequenz-, Spannungs- und Temperaturabhängigkeiten) zu analysieren.

Die LSM erhöht die Leistungsfähigkeit der Lichtmikroskopie und eröffnet mit dem OBIC-Verfahren neue Einsatzbereiche. LSM läßt sich in Lichtmikroskope integrieren, so daß der Mehraufwand in vertretbaren Grenzen bleibt.

Die klassische LM wird künftig verstärkt in Kombination mit der LSM und in Verbindung mit BVS eingesetzt und weiter in der Meßmikroskopie dominieren.

3. Elektronenoptische Bildaufnahme

Elektronenoptische Verfahren werden in zahlreichen Varianten zur direkten Abbildung mikroskopischer Objekte in fast allen

Bild 2. Laser-Scan-Mikroskop

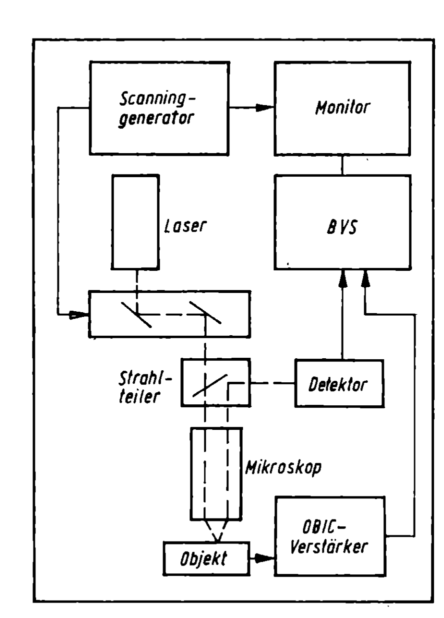


Bild 3. Phasenempfindliches LSM

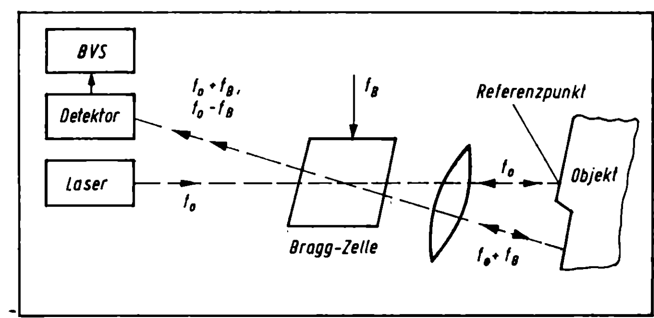


Bild 4. Wechselwirkungen Elektronensonde — Objekt bei REM

AE Auger-Elektronen; PE Primärelektronen; RE Rückstreuelektronen; SE Sekundärelektronen

naturwissenschaftlichen und medizinischen Disziplinen eingesetzt [25]. Einschränkend soll hier wegen ihrer Bedeutung nur die Raster-Elektronen-Mikroskopie betrachtet werden.

3.1. *Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM)*

Das Objekt wird im Hochvakuum von einem fokussierten Elektronenstrahl (Elektronensonde) abgetastet. Im Abtastpunkt treten Wechselwirkungen zwischen den auftreffenden Primärelektronen und dem Objekt auf, wobei Signalträger (Sekundärelektronen, Rückstreuelektronen, Auger-Elektronen, Licht- und Röntgenstrahlen) emittiert werden (Bild 4). Diese Signalträger werden von Detektoren selektiv aufgenommen und zu Grauwerten der Pixel von Rasterbildern verarbeitet. Dabei entstehen, abhängig vom jeweiligen Signalträger, vom gleichen Objektdetail unterschiedliche Bilder (REM-Moden). Die Elektronenoptik in einem RE-Mikroskop dient lediglich dazu, den Elektronenstrahl zu fokussieren, zu pulsen und ihn zeilenweise über das Objekt zu führen. Für die Meßmikroskopie hat die REM folgende Vorteile [25] und [26]:

- stufenlose Vergrößerung von 5- bis 200000fach einstellbar
- extreme Schärfentiefe erreichbar (bis 170 mm)
- veränderliche „Beleuchtungen" (Hell-, Dunkelfeld) möglich
- Bilder aus unterschiedlichen REM-Moden verfügbar

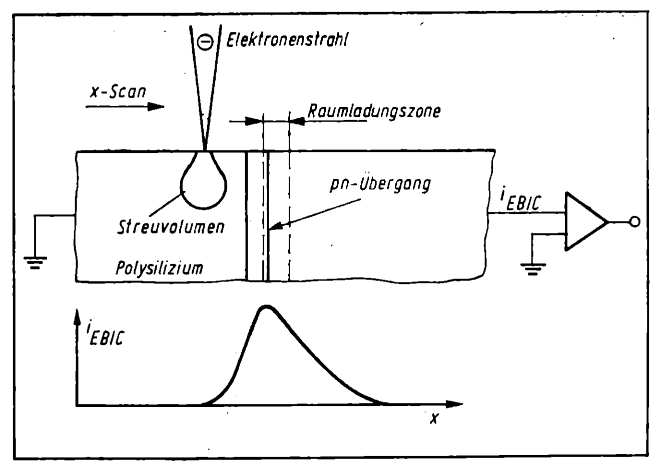


Bild 5. Lokalisierung eines pn-Überganges mit EBIC

— Stereobildeindruck realisierbar
— laterale Auflösung 5 ... 10 nm erzielbar.

Die laterale Auflösung hängt von der Größe des Emissionsbereiches der Signalträger und damit vom Querschnitt der Elektronensonde sowie von der Materialverteilung im Abtastpunkt ab. Außerdem kann die Auflösung durch ein zu niedriges Signal-Rausch-Verhältnis beeinträchtigt werden, wenn z. B. bei schneller Abtastung nur wenig emittierte Signalträger je Pixel an den Detektor gelangen oder der Kontrast zwischen Objektdetails und Hintergrund gering ist [25]. In solchen Fällen führen Mehrfachmessungen mit anschließender digitaler Bild- und Meßwertverarbeitung [27] zu genaueren Meßwerten, wobei jedoch die Meßzeit beträchtlich ansteigen kann [28].

Meßgröße	Meßfehler	Meßzeit
Strukturbreite	50 nm	20 s
Böschungswinkel	5°	30 s
Gitterkonstante	50 nm	~70 s

Zu den Nachteilen der REM bei geometrischen Messungen gehört, daß die Vergrößerung nur mit 10% Fehler angegeben werden kann [28]. Zur Kalibrierung von RE-Mikroskopen sind deshalb oft Referenzbilder erforderlich. Ferner müssen die Objekte vakuumfest sein und möglichst eine leitende Oberfläche haben, damit überschüssige Primärelektronen abfließen. Nichtleiter werden dazu metallisiert. Ist das nicht möglich, muß bei niedrigen Primärelektronenenergien (0,5 ... 2 keV) gearbeitet werden. Dann ist eine ausgeglichene Ladungsbilanz zwischen einfallenden Primärelektronen und emittierten Signalträgern erreichbar [28], jedoch erhöht sich dann die Störempfindlichkeit der REM gegenüber magnetischen Wechselfeldern aus der Umgebung.

3.2. *EBIC-Verfahren und Potentialkontrast*

Auf der Basis modifizierter REM entwickelte sich eine umfangreiche und leistungsfähige Elektronenstrahl-Meßtechnik zur Funktionsanalyse an mikroelektronischen Schaltkreisen und zur Bestimmung von Halbleiterparametern [29] bis [31]. Wichtige Vertreter dieser Meßtechnik sind das EBIC-Verfahren (electron beam induced current) und die Potentialkontrastmessung.
Das EBIC-Verfahren beruht darauf, daß Primärelektronen ins Objekt eindringen, ihre Energie innerhalb eines Streuvolumens verlieren und dabei Elektronen-Loch-Paare erzeugen. Diese Ladungsträger werden in Raumladungszonen beschleunigt, so daß eine EMK entsteht. Sie ist als Probenstrom erfaßbar und wird zur Helligkeitssteuerung einer Bildröhre genutzt (Bild 5). Mit dem EBIC-Verfahren sind nachweisbar:

— laterale und räumliche Diffusionsgebiete
— Gitterdefekte in Diffusionsgebieten
— Leitfähigkeitsinhomogenitäten in Oxid- und Deckschichten
— Kanalausbildungen zwischen Diffusionsgebieten.

Beispielsweise können pn-Übergänge bis auf 50 nm genau lokalisiert werden [30]. Durch Pulsen des Elektronenstrahls läßt sich das EBIC-Verfahren zum zeitauflösenden TREBIC-Verfahren (time resolved EBIC [32]) erweitern. Dann sind Messungen der Lebensdauer von Minoritätsträgern und Rekombinationsgeschwindigkeiten möglich.
Ein Potentialkontrast entsteht, wenn bei der Abrasterung im REM am Objekt positive Spannungen anliegen, die örtlich begrenzte Potentialschwellen erzeugen [33]. Diese Schwellen verhindern, daß emittierte Sekundärelektronen zum Detektor gelangen, so daß diese Gebiete auf der Bildröhre dunkel bleiben (Bild 6). Aus potentialfreien (geerdeten) Gebieten gelangen dagegen alle Sekundärelektronen zum Detektor und die Gebiete erscheinen hell. Sekundärelektronen haben niedrige Energien (0 ... 50 eV), so daß bereits Potentialschwellen von 5 mV nachweisbar sind. Dynamische Potentialfelder, z. B. Spannungsverläufe in einem Schaltkreis, können mit stroboskopischen Methoden gemessen und dabei elektrische Ausbreitungsvorgänge in Halbleitern sichtbar gemacht werden.
Multivalente Nutzbarkeit und hoher technischer Standard von RE-Mikroskopen haben diese zu einem unverzichtbaren Meß- und Prüfgerät in der Meßmikroskopie werden lassen. Trotz des hohen Geräteaufwandes werden elektronenoptische Verfahren für absehbare Zeit entscheidende Bedeutung bei Meß- und Prüfaufgaben im Submikrometerbereich behalten.

4. Akustische Bildaufnahme

4.1. *Scanning-Akustik-Mikroskopie (SAM)*

Bei der SAM [34] bis [36] werden mit einem piezoelektrischen Wandler kohärente Ultraschallimpulse ($f = 0{,}5 ... 3$ GHz) in einem Saphirplättchen erzeugt. Das Plättchen hat eine Kalotte (Radius = 40 ... 80 μm), die den austretenden Schall auf das Objekt fokussiert und so als akustische Linse wirkt (Bild 7). Der Schall wird von der Oberfläche und an tiefer liegenden Dichte- und Elastizitätsgrenzen mehrfach reflektiert und über die akustische Linse wieder aufgefangen. Aus Amplitude und Phase der reflektierten Schallimpulse lassen sich Höhenunterschiede zwi-

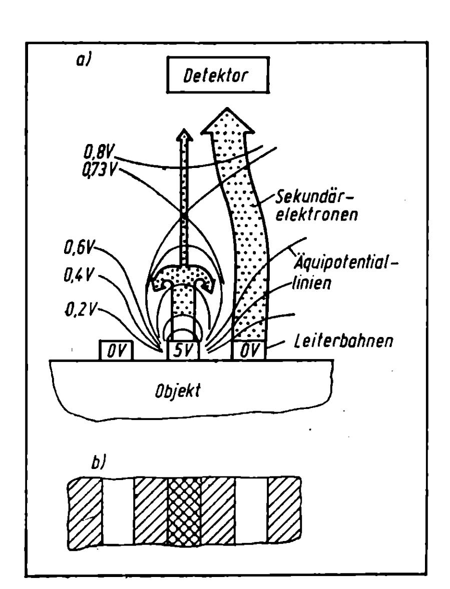


Bild 6. Potentialkontrast bei Leiterbahnen
a) Sekundärelektronen im Potentialfeld; b) Abbildung der Leiterbahnen

Bild 7. Schema der Ultraschallmikroskopie

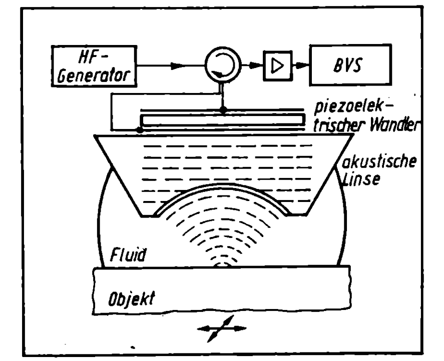
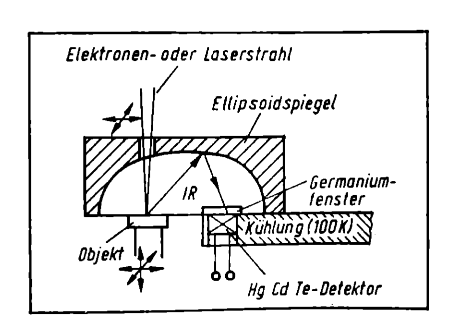


Bild 8. Pyroelektrische Aufnahme von Infrarotstrahlen (IR) zur thermischen Mikroskopie



schen Grenzschichten berechnen und bei x-y-Verschiebung der Linse über dem Objekt als Rasterbild darstellen.
Die Eindringtiefe des Schalls hängt von dessen Leistung und Frequenz sowie vom Material des Objekts ab. Um die Dämpfung des Schalls auf dem Weg vom Wandler zum Objekt und zurück klein zu halten, erhält die Kalotte eine Antireflexschicht (z. B. amorpher Kohlenstoff), und zwischen Saphir und Objekt wird ein Kopplungsfluid (z. B. Wasser) gebracht. Trotzdem wird der Schall auf seinem Weg sehr stark gedämpft. Wandler sowie Sende- und Empfangselektronik müssen höchsten Anforderungen genügen. Für erste SAM-Gerätelösungen werden anspruchsvolle Parameter offeriert [37] und [38]:

- 125- bis 2000fache Vergrößerung
- optimale Auflösung 0,6 µm bei 2 GHz (feinere Auflösungen sind erreichbar [39])
- Bildaufbauzeit 1 ... 20 s
- Eindringtiefe bei 0,8 GHz: Kunststoff 50 µm, Metall 10 µm
- akustisches und optisches Objektiv sind umschaltbar, wobei die Fokussierung erhalten bleibt
- Frequenzabstufung 0,8 ... 2 GHz in 0,1 GHz-Schritten.

4.2. *Laser-Scanning-Akustik-Mikroskopie (LSAM)*

Bei der LSAM wird das Objekt von einer definierten Stelle aus mit Ultraschallwellen oder -impulsen von 0,1 ... 1 MHz angeregt. Der Schall durchläuft das Objekt und wird an Inhomogenitäten reflektiert, gebrochen und gedämpft. An der Objektoberfläche entsteht ein deformiertes Wellenfeld, das mit einem Laserstrahl abgetastet und als Rasterbild dargestellt wird. Aus dem Wellenfeld werden die Abmessungen der Inhomogenitäten berechnet. Die akustische Anregung des Objekts kann von einem piezoelektrischen Wandler aus oder über mikrothermische Vorgänge mit einem gepulsten Laser- bzw. Elektronenstrahl erfolgen [40] und [41]. Bisher wurden mit LSAM räumliche Auflösungen von 1 µm erreicht [42].
Die LSAM-Verfahren werden bisher nur eingeschränkt, z. B. zur Qualitätskontrolle, angewendet.
Hochfrequente akustische Wellen eröffnen Möglichkeiten zur hochauflösenden Visualisierung von Dichte- und Elastizitätsänderungen im Innern kleiner Objekte, die mit den sonst üblichen elektromagnetischen Wellen nicht gegeben sind. Die meßmikroskopische Nutzung dieser neuen Möglichkeiten hat erst begonnen. Akustische Mikroskope sind noch nicht allgemein verfügbar. Künftig dürfte die akustische Bildaufnahme als Ergänzung zur optischen Bildaufnahme in der Mikroelektronik und der Metallographie eingesetzt werden.

5. Thermische Bildaufnahme

Zur thermischen Mikroskopie (TM) wird das Objekt durch einen mit 20 Hz ... 1 GHz gepulsten Elektronen- oder Laserstrahl punktförmig erwärmt. Die periodischen Wärmeimpulse durchlaufen als „thermische Welle" das Objekt. Abstrahlung und thermische Inhomogenitäten im Objekt verändern Amplitude und Phase dieser Welle. Die thermischen Merkmale des Erwärmungspunktes und der Welle sind mit unterschiedlichen Methoden, z. B. pyroelektrisch (Bild 8), oder mit Laser [43] als Raster-Temperaturbilder aufnehmbar. Diese Bilder geben Aufschluß über Geometrie und Zusammensetzung sichtbarer und verdeckter Strukturelemente des Objekts.
Die laterale Auflösung der Temperaturbilder liegt im Bereich 0,1 µm bis 100 µm und hängt vom Querschnitt des Heizstrahls, den Abmessungen und den thermischen Inhomogenitäten des Objekts sowie von der Erfassungsmethode ab [43] bis [46].
Die thermische Bildaufnahme ist noch im Experimentierstadium. Entwicklungsschwerpunkte sind die Erfassung und Interpretation der Temperaturbilder [47]. Erste Anwendungen der TM haben sich bei der Schichtdickenmessung und zur Qualitätskontrolle von Folien [48] sowie zur Abbildung ionenimplantierter Gebiete im Silizium [43] oder von Mikrorissen in Glas [49] ergeben.

6. Bildaufnahme mit Röntgenstrahlen

Zur Röntgenmikroskopie werden weiche Röntgenstrahlen mit Photonenenergien von 100 eV bis 1000 eV benutzt, weil dort günstige Absorptionsbedingungen zur Sichtbarmachung von Objektdetails im Submikrometerbereich vorliegen [50] und [51]. Als Strahlungsquellen eignen sich Synchrotrone und Röntgenröhren. Synchrotronstrahlung ist monochromatisch bei einstellbarer Wellenlänge ($\lambda = 2{,}5 \ldots 4{,}5$ nm) und ebenen Wellenfronten. Das ermöglicht es, auch mit chromatischen Optiken (z. B. Zonenplatten) hochauflösende Bilder zu erzeugen. Mit der Wellenlänge ist der Absorptionsgrad der Röntgenstrahlung an einzelnen Objektbestandteilen (z. B. Kalzium) variierbar. Damit lassen sich, ähnlich wie mit geänderten Beleuchtungen in der LM oder mit unterschiedlichen REM-Moden, vom gleichen Objektdetail Bilder mit veränderter Grauwertstruktur herstellen.

6.1. *Röntgen-Scanning-Mikroskopie (RSM)*

Bei der RSM werden die Röntgenstrahlen mit einer Zonenplatte durch Beugung oder mit einem konzentrischen sphärischen Mehrschichtenspiegel durch Reflexion auf das Objekt fokussiert. Das Objekt absorbiert einen Teil der punktförmig auftreffenden Strahlung. Der hindurchtretende Strahlungsanteil wird von einem Detektor aufgenommen und zum Pixelgrauwert verarbeitet. Durch Objektscanning entsteht das Rasterbild. Die Auflösung hängt von der Dicke des Objekts und vom Durchmesser des Röntgenflecks ab. Bei einer mit UV-Lithographie hergestellten Zonenplatte, deren äußerster Ring nur noch 55 nm breit ist, wurden laterale Auflösungen bis 50 nm errreicht [51].

6.2. *Röntgen-Kontakt-Mikroskopie (RKM)*

Bei RKM wird das Objekt der unfokussierten Strahlung ausgesetzt. Hinter dem Objekt befindet sich ein Film zur Aufnahme des Schattenbildes. Die Auflösung hängt von der Dicke des Objekts, der Wellenlänge der Strahlung und vom Film ab. Nach [51] und [52] sind bei dünnen Objekten ($d = 10$ nm) Auflösungen bis 5 nm erreichbar.
Die Röntgenmikroskopie ist wegen der starken Dämpfung weicher Röntgenstrahlen nur bei sehr dünnen Objekten, vorzugsweise aus der Medizin und Biologie, nutzbar. Wegen des erheblichen Geräteaufwandes wird sie kaum für Routineaufgaben eingesetzt.

7. Bildaufnahme mit Tunnel-Elektronen

Die Scanning-Tunnel-Mikroskopie (STM) nutzt den Tunneleffekt, nach dem bei hohen Feldstärken Ladungsträger durch einen Isolator hindurchtunneln und ein Tunnelstrom fließt. Zur STM werden hohe Feldstärken im Vakuum, unter Normalbedingungen und/oder bei tiefen Temperaturen zwischen der Objektoberfläche und einer etwa 1 nm entfernten Wolfram-Tastspitze erzeugt. Bei dieser Anordnung hängt der Tunnelstrom vom Abstand Spitze—Objekt ab. Bei Änderung dieses Abstandes um nur einen Atomdurchmesser variiert der Tunnelstrom um den Faktor 1000. Zur STM wird die Tastspitze zeilenweise über die Objektoberfläche geführt und der Tunnelstrom oder der Widerstand dadurch konstant gehalten, daß der Abstand mit extremen Genauigkeiten von 1 nm bis 0,01 nm auf einen festen Wert nachgeregelt wird. Die Regelgröße beschreibt dann die Unebenheiten der Oberfläche [53] bis [55].
Die vertikale Auflösung der STM wird durch die Instabilität der Regeleinrichtung und des piezoelektrischen Stellsystems begrenzt. Sie konnte auf 0,01 nm reduziert werden. Die horizontale Auflösung hängt von der Tastspitzenoberfläche ab und liegt bei 0,2 nm. Mit STM sind einzelne Moleküle, Atome und Atombindungen im Kristallgitter darstellbar. Darüber hinaus können chemische und elektrische Eigenschaften von Objektoberflächen bestimmt werden [55] bis [58].
Die außerordentlich hohe Auflösung der STM läßt Vermessungen feinster Oberflächenstrukturen, absorbierter Moleküle oder dünnster Oxidschichten zu, jedoch setzt das eine hochpräzise Präparation der Oberflächen und der Tastspitze voraus. Die STM wird vorwiegend in der Grundlagenforschung Anwendung finden.

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung von Bildaufnahmeverfahren zur Meßmikroskopie sind folgende Schwerpunkte erkennbar:

- Verbesserung der klassischen Lichtmikroskopie und der Elektronenmikroskopie durch Einsatz digitaler Bildverarbeitungssysteme
- Erweiterung der Lichtmikroskopie durch Laser-Scanning-Mikroskopie

Dabei wird die Leistungsfähigkeit der LM erhöht und ihr Anwendungsbereich erweitert (OBIC-Verfahren)

- Entwicklung unkonventioneller Mikroskopieverfahren auf der Basis hochfrequenter akustischer und thermischer Wellen

Dabei eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Visualisierung von Strukturelementen im Innern von Objekten.

Die Auflösung von Bildaufnahmeverfahren für die Meßmikroskopie hängt zuerst vom physikalischen Abbildungsprinzip ab. Darüber hinaus beeinflussen die Eigenschaften des Objektes, der technische Reifegrad des Bildaufnahmesystems und die Leistungsfähigkeit der Bildverarbeitung die Auflösung nachhaltig. Richtwerte für gegenwärtig erreichte Auflösungen sind:

Bildaufnahme		laterale Auflösung in nm
thermisch	(TM)	100000 ... 100
optisch	(LM)	500
optisch mit Laser	(LSM)	500 ... 200
akustisch	(SAM)	500 ... 20
mit Röntgenstrahlen	(RSM)	50
elektronenoptisch	(REM)	5
mit Tunnelelektronen	(STM)	0,2

Literatur

[1] *Roth, K.*, u. a.: Hardware und Software des Bildverarbeitungssystems A6471–AMBA/2. Bild und Ton 37 (1984) 12, S. 358–361.
[2] DEC/IPS digitales Bildverarbeitungssystem für PDP, VAX, MICROVAX-Produktionsbeschreibung. Firmenschrift KONTRON-Bildanalyse GmbH, München 1986.
[3] *Hesse, R.; Klein, R.; Klette, R.*: Knowledge based programming environment for automated picture analysis. Preprint 5th OMEKO Symposium Intelligent Measurement, Jena 1986, Band 1, S. 199–202.
[4] *Jaroslavskij, L. P.*: Einführung in die digitale Bildverarbeitung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1985.
[5] *Freyer, R.*, u. a.: Kamerasysteme zur Bildgewinnung. 1. Intern. Fachtagung Automatische Bildverarbeitung, Berlin 1985.
[6] *Stanski, B.*: Eine hochauflösende Fernsehkamera. Fernseh- und Kinotechnik 39 (1985) 4, S. 177–186.
[7] *Bergmann, H.*: Bildaufnahmeröhren für höhere Auflösung. radio fernsehen elektronik, Berlin 35 (1986) 4, S. 227–228.
[8] *Batchelor, B. G.; Hill, D. A.; Hodgson, D. C.*: Automated visual inspection. Kepston: IFS (Publication) Ltd.; Amsterdam: North Holland 1986.
[9] *Allan, R.*: Largest CCD Imager carries 1024 by 1024 Pixels. Electronic Design (1984) 1, S. 41–42.
[10] Megapixel-Bildsensor. Funktechnik 41 (1986) 9, S. 389.
[11] *Heuer, G.*: Geometrische Korrektur von CCD-Matrixsensoren. Bild und Ton 39 (1986) 1, S. 26–28.
[12] *Erhardt, R.*: Analyse und Entwurf optoelektronischer Systeme zur schnellen digitalen Bilddatenerfassung und -verarbeitung. Dissertation, Universität Stuttgart 1980.
[13] *Ostritz, W.*: Probleme und Möglichkeiten der Shadingkorrektur von Fernsehaufnahmesystemen. 1. Intern. Fachtagung Automatische Bildverarbeitung, Berlin 1985.
[14] *Heß, N.; Herrmann, K. H.*: Verhalten von Silizium CCD-Zeilensensoren bei Kryobedingungen. Nachrichtentechnik – Elektronik, Berlin 36 (1986) 6, S. 227–229.
[15] *Ohnishni, K.; Murakami, K.*: Sensitivity Distribution Measurement of Sensor Element for the Solid-State-Imager. IEEE Trans. Elektron Devices ED-32 (1985) 8, S. 1417–1420.
[16] *Wilke, V.*: Optische Rastermikroskopie: das Laser-Scan-Mikroskop. Physik in unserer Zeit 15 (1984) 1, S. 13–18.
[17] *Horsfield, A.*, u. a.: Dimensional Metrology and Quality Control in Microelectronics. Proc. 3rd IMEKO Symposium on Theoretical Metrology, Berlin 1986. S. 15–17.
[18] Laser-Scan Microscope 8510. Firmenschrift Integrated Circuit Testing GmbH. Ottobrunn-Riemerling 1986.
[19] *Wilke, V.*: Das Laser-Scan-Mikroskop und seine Anwendungsmöglichkeiten. Feinwerktechnik und Meßtechnik 94 (1986) 2, S. 103–104.
[20] *Wearden, T.*: Scanning optical microscopy. Semiconductor Production 4 (1983) 1, S. 31–34.
[21] Ultraschnelles Lasermikroskop. Bild und Ton 38 (1985) 5, S. 131.
[22] *Jungerman, R. L.; Hobbs, P. C. D.; Kino, G. S.*: Phase sensitive scanning optical microscope. Appl. Phys. Lett. 45 (1984) 8, S. 846–848.
[23] *Otto, J.; Plies, E.*: Schaltungsanalyse von IC's durch Messung im Bausteininnern. NTG Fachberichte 87 (1985) S. 110–115.
[24] *Bremser, W.; Blachnik, W.*: Scanning Laser Microprobe for Local Investigation of Photo Detector Devices. Experimentelle Technik der Physik 34 (1986) 5, S. 369–374.
[25] *Bethge, H.; Heidenreich, J.*: Elektronenmikroskopie in der Festkörperphysik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1982.
[26] Digitales Rasterelektronenmikroskop. Technische Rundschau 77 (1985) 21, S. 73.
[27] *Yamaji, H.*, u. a.: High accuracy and automatic measurement of the pattern linewidth on VLSI circuits. Scanning electron microscopy (1985) 1, S. 97 to 102. AMF O'hare, Chicago/USA SEM Inc.
[28] *Lischke, B.; Frosien, J.; Weyl, R.*: Rasterelektronenmikroskopie: Topographie und Metrologie strukturierter Oberflächen. Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte 14 (1985) 4, S. 177–183.
[29] *Feuerbaum, H. P.*: Funktionsprüfung von hochintegrierten MOS-Schaltungen mit der Elektronensonde. Dissertation, Gesamthochschule Duisburg, Fachbereich Elektrotechnik, 1980.
[30] *Rehme, H.; Oppolzer, H.*: Hochaufgelöste elektronenmikroskopische Querschnittsabbildung von Bauelementestrukturen und pn-Übergängen. Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte 14 (1985) 4, S. 193–199.
[31] *Argyo, W.*, u. a.: Analyse elektrischer Funktionen im Innern von integrierten Schaltungen mit der Elektronensonde. Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte 14 (1985) 4, S. 216–222.
[32] *Schick, J. D.*: Advances in Electron-Beam-Current Analysis of Integrated Circuits. Scanning Electron Microscopy (1985) 1, S. 55–66. AMF O'hare, Chicago/USA, SEM Inc.
[33] *Fazekas, P.; Feuerbaum, H. P.; Eckhard, W.*: Scanning electron beam probes VLSI chips. Electronics 54 (1981) 17, S. 105–112.
[34] *Hoppe, M.; Patzelt, W. J.*: Ultraschall-Mikroskopie: Einblicke in mechanische Eigenschaften undurchsichtiger Objekte. Umschau 83 (1983) 21, S. 631–636.
[35] *Quate, C. F.*: Acoustic microscopy. Physics today 38 (1985) 8, S. 34–42.
[36] *Kulakov, M. A.; Morozov, A. I.*: Vizualizija podpoverchnostnoi strukturi objektov s pomočsju akustičeskogo mikroskopa (Sichtbarmachung verdeckter Strukturen mit Hilfe akustischer Mikroskope). Pisma v SCH.T.F. 8 (1982) 12, S. 719–721.
[37] The ASM 100 Series Acoustic Scanning Microscopes. Firmenschrift der VG SEMICON. Imberhorne Lane/GB 1983.
[38] *Thaer, A.; Hoppe, M.; Patzelt, W. J.*: Akustomikroskop ELSAM. LEITZ-Mitteilungen Wissenschaft und Technik 8 (1982) 4, S. 61–67.
[39] *Nikoonahad, M.; Ash, E. A.*: Resolution in Broadband Scanning Acoustic microscopy. IEEE Ultrasonic Symposium, Dallas/USA 1984, Proc. Vol. 2, S. 557–560.
[40] *Sontag, H.; Tam, A. C.*: Optical monitoring of photoacoustic pulse propagation in silicon wafers. Appl. Physics Lett. 46 (1985) 8, S. 725–727.
[41] *Adams, T.*: Acoustic microscopes spot IC flaws. Electronics Week (1984) 11, S. 63–66.
[42] *Mueller, R. K.; Robbins, W. P.*: Scanning Laser Acoustic Microscope Using Surface Acoustic Waves and Digital Image Processing. IEEE Ultrasonic Symposium, Dallas/USA 1984, Proc. Vol. 2, S. 561–566.
[43] *Williams, C. C.*: High resolution photothermal laser probe. Appl. Phys. Lett. 44 (1984) 12, S. 1115–1117.
[44] *Ermert, H.*, u. a.: Noncontact thermal-wave imaging of subsurface structure with infrared detection. Appl. Phys. Lett. 44 (1984) 12, S. 1136–1138.
[45] *McDonald, F. A.; Wetsel, G. C.*: Resolution and Definition in Thermal Imaging. IEEE Ultrasonic Symposium, Dallas/USA 1984, Proc. Vol. 2, S. 622–628.
[46] *Favro, L. D.*, u. a.: A Critical Analysis of the Thermoacoustic Microscope. IEEE Ultrasonic Symposium, Dallas/USA 1984, Proc. Vol. 2, S. 629–632.
[47] *Kolodner, P.; Tyson, J. A.*: Remote thermal imaging with 0,7 μm spatial resolution using temperature, dependent fluorescent thin film. Appl. Phys. Lett. 42 (1983) 1, S. 117–119.
[48] *Rosencwaig, A.; Opsal, J.; Willenborg, D. L.*: Thin-film thickness measurements with thermal waves. Appl. Phys. Lett. 43 (1983) 2, S. 166–168.
[49] *Martin, Y.; Ash, E. A.*: Imaging of Micro-Cracks by Photo-Displacement Micros. IEEE Ultrasonic Symposium, Dallas/USA 1984, Proc. Vol. 2, S. 647–650.
[50] *Schmahl, G.; Rudolph, D.*: X-Ray Microscopy. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1984.
[51] *Howells, M.*, u. a.: Soft-X-ray microscopes. Physics today 38 (1985) 8, S. 22–32.
[52] *Feder, R.*: Contact X-Ray Microscopy. Physics tody 39 (1986) 1, S. 12–13.
[53] *Pohl, D. W.*: Some Design Criteria in Scanning Tunneling Microscopy, IMB Journal Res. Develop. 30 (1986) 4, S. 417–427.
[54] *Binning, G.; Rohrer, H.*: Scanning Tunneling Microscopy. IBM Journal Res. Develop. 30 (1986) 4, S. 355–369.
[55] *Elrod, S. A.*, u. a.: Tunneling Microscopy From 300 to 4.2 K. IBM Journal Res. Develop. 30 (1986) 4, S. 387–395.
[56] *Quate, C. F.*: Vacuum Tunneling: A new Technique for Microscopy. Physics Today 39 (1986) 8, S. 26–33.
[57] *Lang, D. N.*: Electronic Structure and Tunneling Current for Chemisorbed Atoms. IBM Journal Res. Develop. 30 (1986) 4, S. 374–379.
[58] *West, P.*, u. a.: Chemical applications of scanning tunneling microscopy. IBM Journal Res. Develop. 30 (1986) 5, S. 484–491.

msr 8649

E. Habiger; V. Hammer

Ein CAD-System für speicherprogrammierbare industrielle Steuerungen

0. Einleitung

Die Bereitstellung leistungsfähiger Großrechner- und Arbeitsplatzrechnersysteme hat in Verbindung mit dem ständigen Bestreben zu betrieblicher Rationalisierung weltweit in allen ingenieurtechnischen Disziplinen zur Anwendung rechnerunterstützter Arbeitsweisen und speziell in den Bereichen der Entwicklung, Konstruktion und Projektierung zum rechnergestützten Entwurf technischer Systeme geführt. Diese im internationalen Sprachgebrauch als CAD-Technologie (CAD Computer Aided Design) bekannte Arbeitsweise bringt auch in Verbindung mit der Erstellung der Anwenderprogramme für speicherprogrammierbare Steuergeräte entscheidende volkswirtschaftliche Vorteile, wenn bestimmte Randbedingungen gewährleistet sind.
Im folgenden werden, ausgehend von der Grundstruktur eines die Programmierung, Inbetriebnahme, Dokumentation und Programmarchivierung unterstützenden CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen, die wichtigsten effektivitätsbestimmenden Aspekte und Merkmale eines solchen Systems herausgearbeitet, das Konzept einer ersten Ausbaustufe für die bildschirmorientierte Programmierung in Kontaktplan- und Funktionsplantechnik vorgestellt und an einfachen Beispielen die praktische Anwendung gezeigt. Der Beitrag wendet sich an potentielle Nutzer des vorgestellten CAD-Systems.

1. Grundstruktur und effektivitätsbestimmende Kriterien

Bild 1 vermittelt die Grundstruktur eines CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Die Implementierung der aufgabengemäß erforderlichen Steuerungsfunktion $\boldsymbol{a} = \mathrm{Op}(\boldsymbol{e})$ in den Maschinenkode der Zielsteuerung (SPS-System) einschließlich der Programmdokumentation und -archivierung wird in drei rechnergestützt bzw. rechnerautomatisiert abwickelbaren Arbeitsschritten vollzogen.
Bei der Programmerstellung (Bild 1, Schritt 1) wird zunächst nach der Programmiervorschrift mit einer problemangepaßten Fachsprache unter Nutzung einer Programmbibliothek und des Programmarchivs ein Quellprogramm für die gewünschte Steuerungsfunktion $\boldsymbol{a} = \mathrm{Op}(\boldsymbol{e})$ aufgebaut. Dieses Quellprogramm wird mit dafür bereitstehenden Dienstprogrammen editiert, auf syntaktische Fehler getestet und anschließend in den Maschinenkode der Ziel-SPS übersetzt. Gegebenenfalls wird eine vorläufige Programmdokumentation ausgedruckt.
Im nächsten Schritt (Bild 1, Schritt 2) erfolgt die Inbetriebnahme der Steuerung entsprechend der Inbetriebnahmevorschrift. Das erstellte Steuerprogramm wird in den Programmspeicher oder in den Inbetriebnahmespeicher einer mit dem Programmiergerät on-line gekoppelten SPS geladen. Am Prozeßmodell oder auch am realen Steuerobjekt wird Schritt für Schritt die

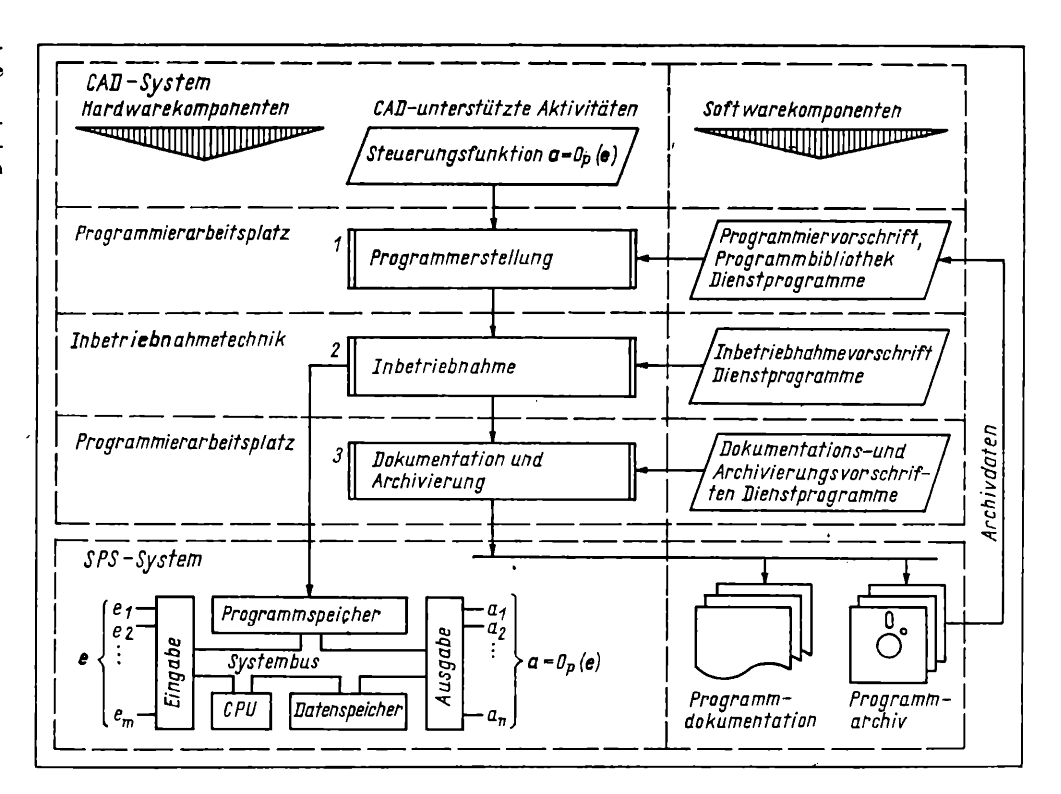


Bild 1. Grundstruktur eines CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)
$\boldsymbol{e} = (e_1, e_2, \ldots, e_m)$ Eingangsgrößenvektor; $\boldsymbol{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_m)$ Ausgangsgrößenvektor; $\boldsymbol{a} = \mathrm{Op}(\boldsymbol{e})$ Funktion der SPS

Funktionsfähigkeit getestet und werden erforderliche Änderungen eingearbeitet. Effektivität und Komfort der Inbetriebnahme hängen dabei stark von der Leistungsfähigkeit der dafür verfügbaren Inbetriebnahmegerätetechnik und Dienstsoftware ab. Im dritten und letzten Schritt (Bild 1, Schritt 3) wird der aktuelle Programminhalt dokumentiert und archiviert.
Serviceunterstützende Systemunterlagen, wie Referenzlisten bei symbolischer Adressierung und Querverweislisten, werden automatisch generiert, ausgedruckt und abgelegt.
Folgende Aspekte bestimmen dabei wesentlich die Leistungsfähigkeit, die effektive Nutzbarkeit sowie die langfristige ökonomische Tragfähigkeit eines solchen Systems:

- Möglichkeit des dialogorientierten, bedienergeführten Programmaufbaus (Menütechnik) sowie die automatische Testung

Prof. Dr.-Ing. habil. *Ernst Habiger* (55) studierte von 1952 bis 1958 an der TH Dresden Elektrotechnik. Bis 1966 Mitarbeiter und wissenschaftlicher Oberassistent am Institut für elektrische Maschinen und Antriebe der TU Dresden. 1964 Promotion über die Bemessung von Wechselstrom-Stellmotoren aus regelungstechnischer Sicht. 1968 Habilitation zur dynamischen Theorie der Zweiphasen-Asynchronmotoren. Nach mehrjähriger Industrietätigkeit im Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus Karl-Marx-Stadt und beim VEB Starkstromanlagenbau Karl-Marx-Stadt (VEB Numerik „Karl Marx") auf dem Gebiet der Werkzeugmaschinensteuerung 1971 Berufung zum o. Professor für das Gebiet „Industrielle Steuerungstechnik" an die TU Dresden. Jetzt Inhaber des Lehrstuhls „Industrielle Steuerungstechnik" an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

Dr.-Ing. *Volkmar Hammer* (36) ist gelernter Elektromontageschlosser. 1971 bis 1975 Studium in der Fachrichtung Elektroingenieurwesen (Industrielle Steuerungen) der TU Dresden. 1975 bis 1980 wissenschaftlicher Assistent, seit 1980 wissenschaftlicher Oberassistent am Lehrstuhl „Industrielle Steuerungstechnik" der TU Dresden. 1980 Promotion A auf dem Gebiet des Entwurfs und der Anwendung speicherprogrammierbarer Steuerungen.

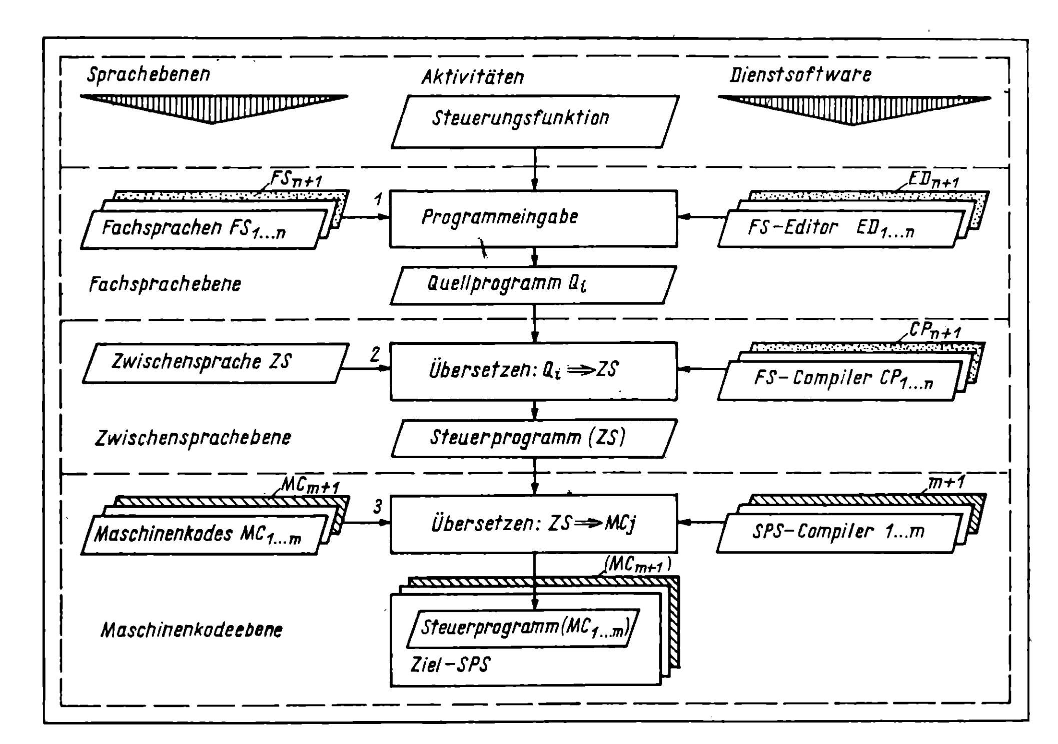


Bild 2. Nach oben offenes SPS-Softwarekonzept

▶ **Bild 3.** CAD-orientierte Programmier- und Inbetriebnahmetechnologie auf der Basis von Kontakt- und Funktionsplänen

des Anwenderprogramms auf syntaktische Fehler bzw. Lauffähigkeit, wodurch subjektive Eingabefehler vermieden werden und der mit ihrer Suche und Behebung verbundene Zeitaufwand entfällt

- weitgehend papierlose, rechnerunterstützte bzw. rechnerautomatisierte Abwicklung der Schritte 1 bis 3 im Bild 1, wodurch manuelle Schreib- und Zeichenarbeiten drastisch reduziert und u. a. die Abwicklung der Entwurfs- und Inbetriebnahmearbeiten auf mehrschichtig nutzbaren Arbeitsplätzen begünstigt wird
- Verfügbarkeit einer hard- und softwaremäßig zu den handelsüblichen Büro-, Personal- und Arbeitsplatzcomputern paßfähigen steuerungsspezifischen Programmier- und Inbetriebnahmegerätetechnik, damit Programmerstellung, Dokumentation und Archivierung auf möglichst allen verfügbaren Arbeitsplatzrechnersystemen durchführbar sind
- Einsatz anwenderfreundlicher, traditionellen Gewohnheiten der Steuerungsentwickler Rechnung tragender und zu internationalen Normungsbestrebungen (siehe z. B. [1] bis [4]) paßfähiger, insbesondere grafischer Programmierfachsprachen, um den Schulungsaufwand möglichst niedrig zu halten, den bei den Entwicklern vorhandenen Erfahrungsschatz voll zu nutzen, die Transparenz und Interpretierbarkeit der Programmdokumentationen zu erhöhen und die Exportfähigkeit von Finalerzeugnissen mit darin integrierten SPS-Systemen zu unterstützen
- Orientierung der Programmiertechnologie auf die Entwicklung modular strukturierter Programme unter Verwendung vorgefertigter Funktions- bzw. Programmbausteine für häufig wiederkehrende Standardfunktionen und Anwenderroutinen sowie unter Verwendung bereits früher erstellter Programme und Programmteile, die ggf. nur neu zu parametrieren bzw. geringfügig abzuändern sind
  Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die leichte Auffindbarkeit gleicher oder ähnlicher Anwenderprogramme, d. h. die Organisation des Programmarchivs sowie die möglichen Wiederauffindungstechniken, künftig sicher ein Einsatzgebiet der künstlichen Intelligenz.
- Verwendung eines weitgehend vom Steuerungstyp und der Steuerungsgerätegeneration unabhängigen, nach oben offenen Implementierungskonzepts (Bild 2), wonach das Steuerprogramm zunächst in einer geeigneten Fachsprache FS_i formuliert und mittels eines entsprechenden Fachsprachen-Editors ED_i editiert (Bild 2, Schritt 1), danach die so entstandene Quelle Q_i mittels des Fachsprachen-Compilers CP_i in eine Zwischensprache ZS übersetzt (Bild 2, Schritt 2) und anschließend mittels eines steuerungsspezifischen Compilers (SPS-Compilers) in den Maschinenkode MC_j der Zielsteuerung übertragen wird (Bild 2, Schritt 3)

  Diese Vorgehensweise gewährleistet,
  - daß beim Hinzukommen einer neuen Eingabefachsprache FS_{n+1} nur ein neuer Fachsprachen-Editor ED_{n+1} sowie ein neuer Fachsprachen-Compiler CP_{n+1} zu schaffen sind
  - daß beim Hinzukommen eines neuen Steuerungsgerätetyps (einer neuen Steuerungsgeneration) nur ein neuer SPS-Compiler für die Übersetzung aus dem Zwischenkode ZS in den Maschinenkode MC_{m+1} des neuen Steuerungssystems zu erarbeiten ist

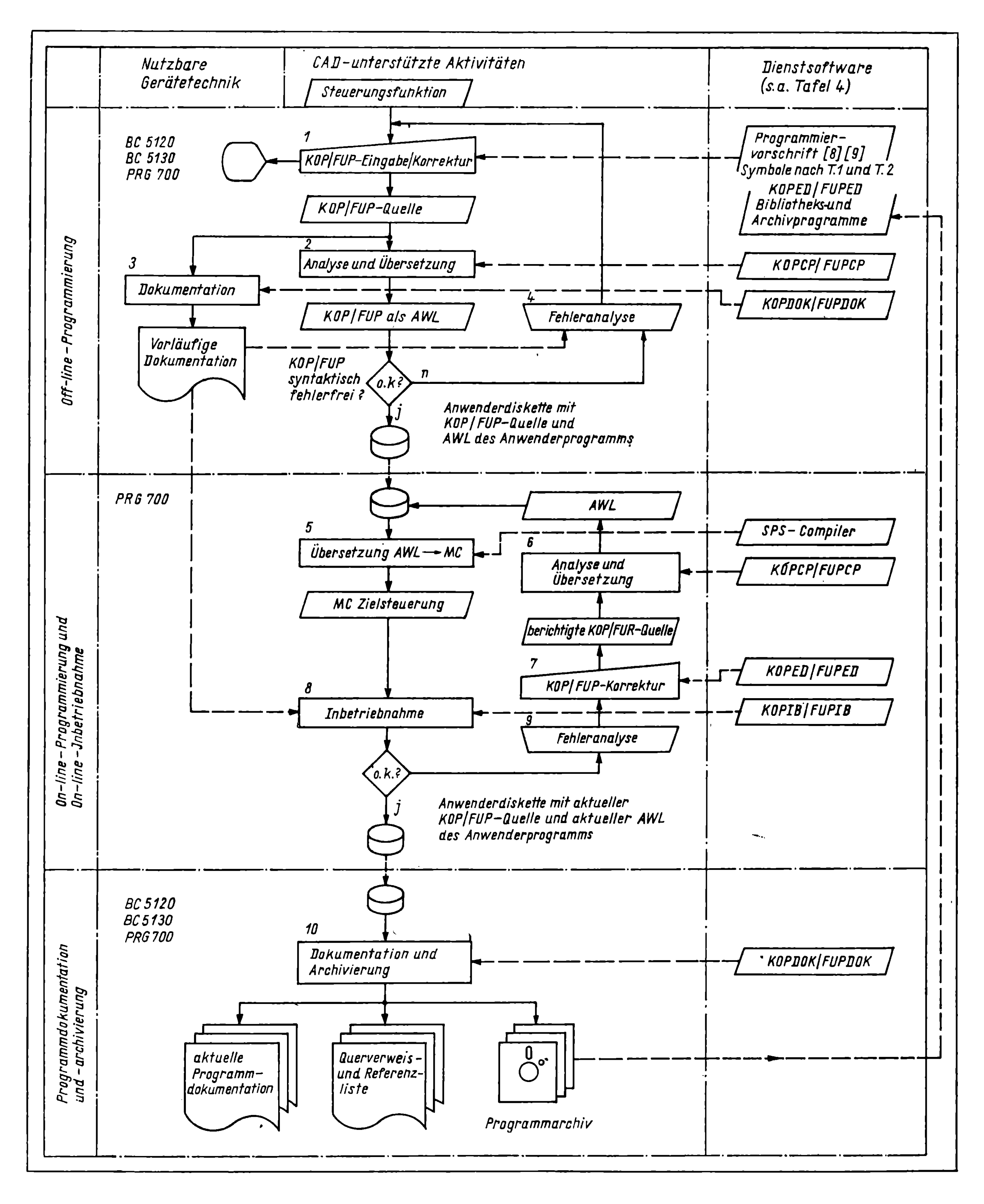
    Alle einmal erstellten auf dem Zwischensprachniveau vorliegenden Steuerprogramme können damit sehr einfach auf neue Steuerungssysteme übertragen werden. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Prozessoren des neuen Systems den Befehlsvorrat der Zwischensprache verarbeiten können. Dies ist durch den Hersteller der SPS zu gewährleisten.
- ausschließliche Abwicklung der Mensch-Maschine-Kommunikation in allen Phasen des CAD-Prozesses auf der Fachsprachenebene.

2. Ein CAD-System für die Programmierung in Kontaktplan- und Funktionsplantechnik

Im Auftrag des VEB NUMERIK „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt wurde an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektro-

Tafel 1. Durch Tastendruck aufrufbare Kontaktplansprachelemente entsprechend [8]

Symbol	Bedeutung
–] [–	Schließer
–]/[–	Öffner
–( )–	Relais
–(( )–	Zeitrelais, anzugverzögert
–( ))–	Zeitrelais, abfallverzögert
–(S)–	Setzfunktion
–(R)–	Rücksetzfunktion
^1	bedingter Sprung bei durchgeschaltetem Signal
^ø	bedingter Sprung bei fehlendem Signal
^	Sprung, unbedingt
‹...›	Sonderfunktion, Einbindung von Programmabschnitten in AWL
!	Kommentar
[	Parallelzweig eröffnen
]	Parallelzweig abschließen
+	Fortsetzen im Parallelzweig



technik, unter Mitwirkung der TU Karl-Marx-Stadt, Bereich Steuerungstechnik und Prozeßautomatisierung der Sektion Automatisierungstechnik, die Entwicklung eines CAD-Systems für SPS in Angriff genommen und für den Einsatz der grafischen Eingabefachsprachen Kontaktplan (KOP) und Funktionsplan (FUP) entsprechend [2] [6] [7] und [13] in einer ersten Ausbaustufe fertiggestellt. Bild 3 gibt eine Übersicht über die verfügbare Dienstsoftware, über die für den CAD-Prozeß nutzbare Gerätetechnik sowie die Entwurfs- und Inbetriebnahmeabwicklung. Letztere ist für beide Fachsprachen einheitlich, wodurch die gemischte Anwendung der beiden Fachsprachen in einem Anwenderprogramm, z. B. der KOP zur Notierung der Weiterschaltbedingungen in einem FUP, möglich ist.

Wesentliche rechnerunterstützt ausführbare Abwicklungsschritte sind

— Programmeingabe und -korrektur
— Analyse und Übersetzung des Quellprogramms
— Inbetriebnahme des SPS-Systems
— Dokumentation und Archivierung des Anwenderprogramms.

Im weiteren werden einige inhaltliche Aspekte dieser Aktivitäten kurz erläutert.

Tafel 2. Durch Tastendruck aufrufbare Funktionsplansprachelemente entsprechend [9]

Symbol	Bedeutung
e1, e2 … em, Sn, Name, a2, a1	Schrittsymbol e1 Setzeingang, Anschluß zum Vorschritt (1-aktiv) e2...em Freigabeeingänge/Weiterschaltbedingungen (UND-verknüpft, 1-aktiv) a1 Ausgang zum Folgeschritt (1-aktiv) a2 Ausgang zur Befehlssteuerung (1-aktiv) Sn Schrittnummer Name Kurzbezeichnung des Schrittes Als Weiterschaltbedingung sind möglich: – Bit-Variable (1-aktiv) – Boolesche Funktion (1-aktiv) – Ausgang eines (parametrierbaren) Bausteines (1-aktiv) z. B. KOP-Bausteines, Unterfunktionsplanes, AWL-Bausteines
e, A, B	Befehlssymbol e Befehlsfreigabe durch Schrittausgang a2 (1-aktiv) A Befehlstyp (siehe Tafel 3) B Befehlsinhalt
=1, 1, 2 … n	Alternative Verzweigung/alternativer Sammelpunkt (einer von n Wegen ist aktiv)
&, 1, 2 … n	Konjunktive Verzweigung/konjunktiver Sammelpunkt (alle n Wege werden parallel aktiviert)

Tafel 3. Funktionsplantechnik, Befehlstypen

Befehlstyp	Wirkung
NS	nichtspeichernd, aktiv nur im auslösenden Schritt
T	wie NS, jedoch zeitlich begrenzt
NSD	wie NS, jedoch verzögert in der Ausführung
S	nichtspeichernd, aktiv nur im auslösenden Schritt
ST	wie S, jedoch zeitlich begrenzt
SD	wie S, jedoch verzögert in der Ausführung
CTRL Z	Zählerbaustein für interne und externe Ereignisse
CTRL F	allgemeiner Bausteinaufruf, ohne Rückmeldung, einmalige Abarbeitung (KOP-Baustein, AWL-Baustein, Unterfunktionsplan)
W	beliebige Anweisung nach TGL 44590/01, die einmal abgearbeitet wird
M	nichtspeichernder Befehl, Variable wird in Abhängigkeit von boolescher Verknüpfung modifiziert (z. B. A3.2=E1.5+/M1.6)

Tafel 4. Übersicht über den Funktionsumfang der Dienstsoftware

Dienstsoftware zum	Kontaktplan (KOP)		Funktionsplan (FUP)	
	Name	Funktionsinhalt	Name	Funktionsinhalt
1 Editieren (Eingeben/Ändern)	KOPED	Zeigerorientiertes Programm zur bedienerunterstützten, grafischen Eingabe von Kontaktplansegmenten – Steuerung des Segmentzeigers, Anzeige (Top, Bottom, Up, Next) – Finden, Ändern von Zeichenketten (Locate, Change) – Eingabe, Ändern, Löschen von Kontaktplansegmenten (Input, Replace, DElete) – Drucken von KOP-Segmenten (Print) – Holen und Ablegen von KOP-Segmenten auf Diskette (GEt, PUTDelete)	FUPED	Zeigerorientiertes Programm zur bedienerunterstützten, grafischen Eingabe von Funktionsplänen – Steuerung des Zeigers auf Schritte, Verzweigungen, Sammelpunkte, Anzeige (Top, Bottom, Up, Next) – Finden, Ändern von Zeichenketten (Locate, Change) – Eingabe, Löschen von Schritten, Verzweigungen, Sammelpunkten (Input, DElete) – Drucken von FUP-Abschnitten (Print) – Holen und Ablegen von FUP-Segmenten auf Diskette (GEt, PUTDelete)
2 Dokumentieren	KOPDOK	Programm zur rechnerunterstützten Dokumentation von Kontaktplänen – A4-formatierter Druck des Kontaktplanes (mit Kopf und Schriftfeld) – Querverweisliste (Zuordnung von Ein- und Ausgängen, Merkern zu KOP-Segmentnummern) – Referenzliste bei symbolischer Adressierung	FUPDOK	Programm zur rechnerunterstützten Dokumentation von Funktionsplänen – Grobstruktur: Schritte, Verzweigungen, Sammelpunkte, Konnektoren (Format wählbar, A4 Standard) – A4-formatierter Druck des Funktionsplanes (mit Kopf und Schriftfeld) – Querverweisliste (Zuordnung von Ein- und Ausgängen, Merkern zu Schrittnummern) – Referenzliste bei symbolischer Adressierung
3 Übersetzen (Fachsprach-Compiler)	KOPCP	Programm zur Übersetzung von Kontaktplänen in Anweisungen (TGL 44590/01) – umkehrbar eindeutige Übersetzung KOP-Struktur aus Anweisungen erkennbar – speicherarme Übersetzung – KOPs können Abschnitte, die in Anweisungen geschrieben sind, enthalten	FUPCP	Programm zur Übersetzung von Funktionsplänen in Anweisungen nach TGL 44590/01 unter Nutzung der Befehlsgruppe zur logischen Prozessorverwaltung FUPs können Kontaktplan-Bausteine und Anweisungen enthalten
4 Inbetriebnahme	KOPIB	Programm zur Inbetriebnahme von Steuerungen auf dem Niveau KOP, gestattet das passive Beobachten des Zusammenwirkens Steuerung/Prozeß und das aktive Beeinflussen (Forcen) von Variablen: – Zyklusbetrieb, Programm wird einmal abgearbeitet – Programmlauf bis Unterbrechungspunkt (definierte Variablenbelegung) – Echtzeittest, Programmlauf bis Unterbrechungsbefehl	FUPIB	Programm zur Inbetriebnahme von Steuerungen auf dem Niveau FUP, gestattet das passive Beobachten des Zusammenwirkens Steuerung/Prozeß und das aktive Beeinflussen (Forcen) von Variablen: – Schrittbetrieb, Programm wird bis zum nächsten bzw. den nächsten Schritten abgearbeitet – Programmlauf bis Unterbrechungspunkt (definierter Schritt) – Echtzeittest, Programmlauf bis Unterbrechungsbefehl

2.1. Programmeingabe und -korrektur

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Anwenderprogramms ist die aufbereitete Aufgabenstellung, insbesondere die in geeigneter Weise vorformulierte Vorstellung zur aufgabengemäß erforderlichen Steuerungsfunktion.

Davon ausgehend wird am Programmierarbeitsplatz (Gerätetechnik: BC 5120, BC 5130 oder PRG 700) über die Bedien-

tastatur mit dem in den Tafeln 1 bzw. 2 angegebenen Symbolvorrat (Befehlstypen für Funktionsplantechnik s. Tafel 3) unter Nutzung des Kontaktplaneditors (KOPED) bzw. des Funktionsplaneditors (FUPED) das Anwenderprogramm im Bildschirmdialog aufgebaut (Bild 3, Schritt 1). Beide Editoren erlauben das Einfügen, Ändern und Löschen von Symbolen, Marken und Kommentaren (Tafel 4). Durch eine gezielte Bedienerführung werden formale Eingabefehler weitgehend vermieden.

Die Verwendung von Programm- bzw. Funktionsbausteinen, die in einer Programmbibliothek hinterlegt sind, sowie die Nutzung (Einbindung, Modifizierung, Umparametrierung) bereits früher erstellter, archivierter Programme als Grundlage für die Anwenderprogrammerstellung verringert den Programmier-, Test- und Inbetriebnahmeaufwand wesentlich. Als Ergebnis des Eingabevorganges wird eine für den Kontaktplan syntaktisch richtige, für den Funktionsplan syntaktisch vorgeprüfte datenkomprimierte Quelle abgespeichert, die die Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte darstellt. Die vorläufige Dokumentation des eingegebenen Kontakt- bzw. Funktionsplanes ist mit Hilfe der Dienstprogramme KOPDOK bzw. FUPDOK (vgl. Tafel 4, Zeile 2) möglich (Bild 3, Schritt 3).

2.2. *Programmanalyse und -übersetzung*

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes (Bild 3, Schritt 2) wird das in der jeweiligen Fachsprache (KOP, FUP) vorliegende Quellprogramm mit Hilfe der Compiler KOPCP bzw. FUPCP (vgl. Tafel 4, Zeile 3) in eine Anweisungsliste (Zwischensprache) überführt, deren Anweisungen in [5] standardisiert und damit für alle Zielsteuerungen verbindlich sind.

Für den Kontaktplan kann bei der Übersetzung zwischen zwei Strategien gewählt werden:

- umkehrbar eindeutige Übersetzung
  Das KOP-Abbild kann dabei aus der Anweisungsliste wiedergewonnen werden.
- speicherarme Übersetzung
  Das KOP-Abbild ist dabei nicht wiedergewinnbar, jedoch werden 15 bis 30% der Anweisungen eingespart.

Beide Verfahren haben keine Rückwirkung auf die Dokumentation, da hierbei stets von der aktuellen KOP-Quelle ausgegangen wird.

Für den Funktionsplan wird durch den FUP-Compiler ein Zweiebenen-Zwischenkode generiert.

In der ersten Ebene wird dabei ein Petri-Netz der FUP-Grobstruktur aufgebaut, während in der zweiten Ebene die Weiterschalt- und Befehlsausführungsmechanismen hinterlegt werden [10] bis [12]. Das Netz wird selbsttätig in bezug auf mögliche Strukturfehler (Netzeigenschaften: Lebendigkeit und Sicherheit), die durch fehlerhafte Kombination der unterschiedlichen Verzweigungs- und Sammelstellen entstehen können, geprüft.

Der Programmierer erhält als Ergebnis der Analyse die Fehlerfreiheit bestätigt oder anderenfalls Fehlermitteilungen auf dem Niveau des Funktionsplanes zur Korrektur (Bild 3, Schritt 4). Ist Fehlerfreiheit erreicht, erfolgt die Übersetzung des Quellprogramms in die Anweisungsliste nach [5].

Danach befinden sich auf der Anwenderdiskette die aktuelle KOP- bzw. FUP-Quelle und die entsprechende Anweisungsliste.

2.3. *Inbetriebnahme des SPS-Systems*

Im Rahmen der Inbetriebnahmearbeiten wird zunächst das als Anweisungsliste (AWL) vorliegende Anwenderprogramm mit Hilfe des steuerungsspezifischen SPS-Compilers in den Maschinenkode der Zielsteuerung übersetzt (Bild 3, Schritt 5), mit diesem der Programmspeicher bzw. der Arbeitsspeicher der mit dem Programmiergerät gekoppelten Steuerung geladen und schließlich die Inbetriebnahme auf der Grundlage der Inbetriebnahmevorschrift unter Nutzung der im Schritt 3 erstellten vorläufigen Programmdokumentation sowie der Dienstprogramme KOPIB bzw. FUPIB auf der Basis des jeweiligen Fachsprachniveaus durchgeführt (Bild 3, Schritt 8).

Die Dienstprogramme KOPIB bzw. FUPIB ermöglichen die in der Tafel 4, Zeile 4 angegebenen Betriebsarten, die eine effektive, für den Kontaktplan segmentorientierte und für den Funktionsplan schrittorientierte Inbetriebnahme gestatten. Bei der

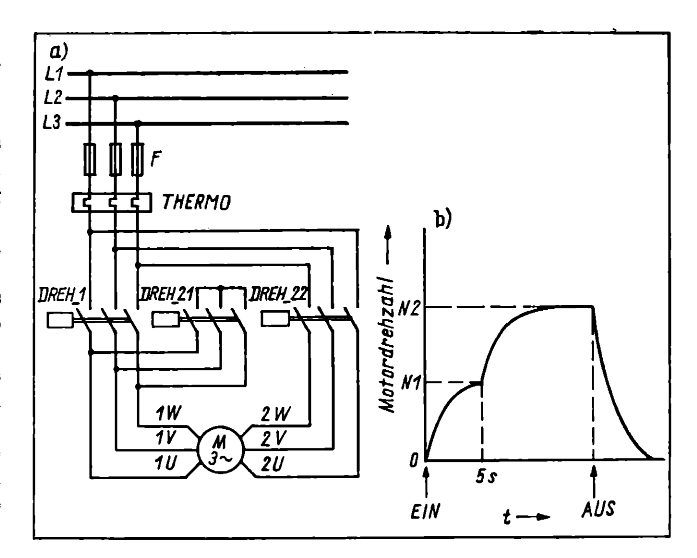


Bild 4. Beispiel für die Kontaktplantechnik — Zentrifugenantriebssteuerung

a) Hauptstromkreis des Zentrifugenmotors; b) Drehzahl-Zeit-Diagramm
AUS Austaster; EIN Eintaster; HILF_1 Hilfsrelais 1; RDREH_1 Rückmeldekontakt Schütz DREH_1; RDREH_21 Rückmeldekontakt Schütz DREH_21; RDREH_22 Rückmeldekontakt Schütz DREH_22; ZHILF_1 Zeitrelais 1

Inbetriebnahme auftretende Fehler werden analysiert, mittels Editor in der KOP- bzw. FUP-Quelle korrigiert und die berichtigten Quellen in den Maschinenkode der in Betrieb zu nehmenden Steuerung übersetzt (Bild 3, Schritte 9, 7, 6 und 5). Dazu werden die bereits bei der Programmierung angewendeten Dienstprogramme KOPED, KOPCP, KOPDOK bzw. FUPED, FUPCP, FUPDOK genutzt.

2.4. *Dokumentation und Archivierung der Anwendersoftware*

Nach Abschluß der Inbetriebnahmearbeiten werden, ausgehend von der stets aktuellen Quelle, das Anwenderprogramm u. a. daraus generierte Service- und Wartungsunterlagen (Querverweislisten, Referenzlisten bei symbolischer Adressierung) ausgedruckt und die Quelle, ggf. weitere Zusatzdateien, auf einem geeigneten Datenträger archiviert.

Bedeutung hat hier der Aufbau des Programmarchivs (leichte Wiederauffindbarkeit abgelegter Programme); besonders dann, wenn von mehreren Programmierarbeitsplätzen aus im Online-Verkehr auf eine gemeinsame Datenbank zugegriffen wird.

3. Beispiele für die Anwendung des CAD-Systems

Die Anwendung des CAD-Systems wird im folgenden an je einem Beispiel für die Kontaktplantechnik und für die Funktionsplantechnik demonstriert.

Die *Kontaktplantechnik* empfiehlt sich für folgende Einsatzgebiete:

- kleine und mittlere SPS-Systeme, insbesondere solche, die konventionelle Relais- und Schützsteuerungen ablösen
- Beschreibung funktioneller Komponenten mit hohem Verknüpfungsanteil innerhalb von ablauforientierten Steuerungen, d. h. als KOP-Baustein in Funktionsplänen zur Darstellung von Weiterschalt- und Befehlsfreigabebedingungen
  Diese Vorgehensweise ist besonders dann zu empfehlen, wenn dadurch eine höhere Übersichtlichkeit als bei der Anwendung des M-Befehls oder mit AWL-Baustein erreicht wird.

Einer der wesentlichsten Vorteile der Kontaktplantechnik ist der für die Einarbeitung erforderliche geringe Zeitaufwand (Stunden), der auf der Ähnlichkeit des Kontaktplanes mit dem aus der klassischen Steuerungstechnik bekannten Stromlaufplan beruht.

Bild 4a zeigt als Beispiel für die Anwendung der Kontaktplantechnik die Steuerung eines Zentrifugenantriebs mit polumschaltbarem Motor. Er wird über den Eintaster EIN gestartet und läuft auf die Drehzahl N1 hoch (Bild 4b). Nach 5 s wird durch ZHILF_1 (Anhang 1) automatisch auf die Drehzahl N2 umgeschaltet. Danach bleibt die Zentrifuge solange in Betrieb, bis sie durch Betätigen des Austasters AUS stillgesetzt wird. Anhang 1 zeigt den entsprechenden über KOPDOK angefertig-

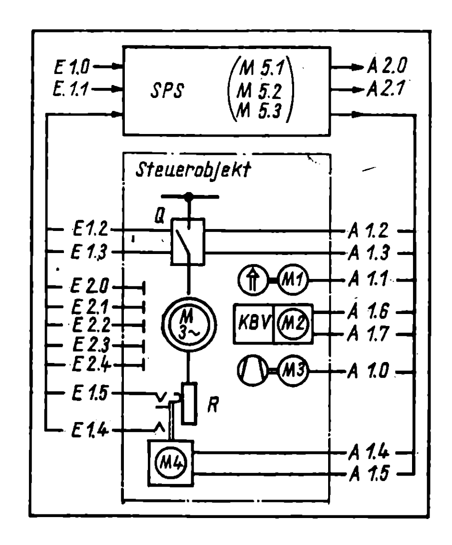


Bild 5. Beispiel für die Funktionsplantechnik — Antriebsaggregat mit Hochspannungsmotor (vereinfacht nach [14])

Bauglieder:
M Drehstromasynchronmotor mit Schleifringläufer; M1 Ölpumpenantrieb für die Druckölschmierung; M2 Stellantrieb für die Läuferkurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung KBV; M3 Lüfterantrieb für die Fremdbelüftung von M; M4 Stellantrieb für die Anlasserbetätigung; R Anlaßwiderstand; SPS speicherprogrammierbare Steuerung; Q Leistungsschalter

Stellgrößen:
A1.0 Lüfterantrieb; A1.1 Ölpumpenantrieb; A1.2 Leistungsschalter EIN; A1.3 Leistungsschalter AUS; A1.4 Anlasser-Hochlauf; A1.5 Anlasser-Rücklauf; A1.6 Läufer kurzschließen, Bürsten abheben; A1.7 Bürsten aufsetzen, Kurzschluß öffnen

Meldegrößen für den Bedienbereich:
A2.0 Meldung „Hochlauf"; A21. Meldung „Anlauf beendet"

Führungsgrößen:
E1.0 Starttaste; E1.1 Austaste

Prozeßrückmeldegrößen:
E1.2 Leistungsschalter ist ein; E1.3. Leistungsschalter ist aus; E1.4 Anlasser in Startposition; E1.5 Anlasser in Endposition; E1.6 Quittung A1.6; E1.7 Quittung A1.7; E2.0 Lagertemperatur i. O.; E2.1 Öltemperatur i. O.; E2.2 Wicklungstemperatur i. O.; E2.3 Kühlung vorhanden; E2.4 Öldruck vorhanden

Zeiten:
M1.1 Losbrechzeit; M1.2 Hochlaufkontrollzeit; M1.3 Anlaßkontrollzeit

ten Ausdruck eines Kontaktplanes, der diesen Funktionsinhalt repräsentiert.
Er besteht aus insgesamt fünf Segmenten (001 bis 005). Jedes Segment wird am Bildschirm mit den in der Tafel 1 angegebenen Symbolen über Bedientastatur aufgebaut. Für das Segment 001 beispielsweise sind nacheinander folgende Eingaben zu tätigen:

Eingaben		Bedeutung gemäß Tafel 1
ZENTRI:		Marke, Sprungadresse
—]/[—	AUS	Öffner, Austaster
[		Eröffnung Parallelzweig
—] [—	EIN	Schließer, Eintaster
+		Fortsetzung im Parallelzweig
—] [—	HILF_1	Schließer, Hilfsrelais
]		Abschluß Parallelzweig
—]/[—	THERMO	Öffner, Bimetallrelais
—( )—	HILF_1	Segmentabschluß, Hilfsrelais

Die Eingabe erfolgt bedienergeführt, d. h., vor jedem Tastendruck erscheinen in der Anzeigezeile alle für die nächste Eingabe zulässigen Elemente. Diese Eingabeorganisation garantiert syntaktisch richtige Kontaktplanquellen nach Abschluß der Eingabe bzw. Korrektur mittels des KOPED-Dienstprogramms.
Die *Funktionsplantechnik* ist insbesondere für ablauforientierte einkettige und mehrkettige parallelläufige Steuerungsprozesse geeignet, d. h., für

— ablauforientierte Steuerungen kleinen und mittleren Umfangs, wobei stark verknüpfungsorientierte Komponenten über M-Befehl, AWL- oder KOP-Baustein effektiv eingebunden werden können
— verkettete hierarchisch strukturierte Steuerungen.

Durch das gewählte Übersetzungsprinzip werden extrem kurze Reaktionszeiten der Steuerung erreicht, da jeweils nur die Programmstücke abgearbeitet werden, die den gerade aktiven Schritten und ihren möglichen Nachfolgeschritten zuzuordnen sind.

Die Anhänge 2a und 2b zeigen als Beispiel die mit FUPDOK erstellten Ausdrucke der Grob- und Detailstruktur des in FUP-Technik ausgeführten Anwenderprogramms für die Steuerung des Anlaufs eines Hochspannungsdrehstromschleifringläufermotors (Einzelheiten s. [2] und [14]).
Im Zuge der Programmentwicklung wird zunächst, ausgehend vom Steuerobjekt (Bild 5), im Sinne eines Top-down-Entwurfes die FUP-Grobstruktur entwickelt (Anhang 2a) und anschließend, wie im Abschn. 2. erläutert, die FUP-Feinstruktur (Anhang 2b) über Bedientastatur und Bildschirm in das Entwicklungssystem eingegeben, Eingabefehler korrigiert, die Compilierung realisiert, die Inbetriebnahme durchgeführt und schließlich das aktuelle Anwenderprogramm mittels FUPDOK, wie in den Anhängen 2a und 2b dargestellt, dokumentiert. Auf eine verbale Beschreibung des Steuerungsinhaltes kann verzichtet werden, da der Funktionsplan den Steuerungsablauf inhaltlich ausreichend erklärt. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz der Funktionsplantechnik ist in [15] ausführlich beschrieben.
Das vorgestellte CAD-System befindet sich zur Zeit in verschiedenen Betrieben zur praktischen Erprobung. Es besteht die Absicht, zu gegebener Zeit über die Erprobungsergebnisse zu berichten.
Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. *Lutz Hoffmann* und Herrn Dipl.-Ing. *Peter Schölzel* für die Unterstützung bei der Erarbeitung der Beispiele für den Abschn. 3. des Beitrags.

Literatur

[1] VDI 2880, Blatt 4 (Entwurf): Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte, Programmiersprachen. Dezember 1982.
[2] DIN 40719, Teil 6: Schaltungsunterlagen; Regeln und grafische Symbole für Funktionspläne, März 1977.
[3] DIN 19235: Steuerungstechnik, Speicherprogrammierbare Steuerungen, Programmierung. Mai 1983.
[4] IEC-Entwurf 65A(SEC)49: Programmable Controllers, Part 3. Specification for Programming Languages. Januar 1985.
[5] TGL 44590/01: Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen, Darstellung des Anwenderprogramms, Anweisungsliste (Entwurf). August 1984.
[6] TGL 44590/02: Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen, Darstellung des Anwenderprogramms, Funktionsplan (Entwurf). Januar 1985.
[7] TGL 44590/03: Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen, Darstellung des Anwenderprogramms, Kontaktplan (Entwurf). April 1986.
[8] *Schölzel, P.; Hammer, V.*: PC-Programmieranleitung „Kontaktplan". Karl-Marx-Stadt: VEB NUMERIK „Karl Marx" 1986.
[9] *Simon, K.*: PC-Programmanleitung „Funktionsplan", Karl-Marx-Stadt: VEB NUMERIK „Karl Marx" 1986.
[10] *Engelmann, K.*: Beitrag zur Erstellung von Steuerprogrammen für speicherprogrammierbare Steuerungen mit Hilfe von Petri-Netzunterlegten Funktionsplänen. Dissertation A, TU Dresden 1984.
[11] *Engelmann, K.*: Der Funktionsplan als Eingabefachsprache für speicherprogrammierbare Steuerungen. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 33 (1984) 4, S. 201—205.
[12] *Simon, K.*: Der Funktionsplan als grafische Eingabefachsprache — Beitrag zur rechnergestützten Projektierung und Programmierung speicherprogrammierbarer industrieller Steuerungen. Dissertation A, TU Dresden 1986.
[13] *Hammer, V.*: Eingabemöglichkeiten bei PC-Systemen. 10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden 1984.
[14] *Schönfeld, R.; Habiger, E.*: Automatisierte Elektroantriebe. 2. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
[15] *Habiger, E.; Hammer, V.; Simon, K.*: Funktionsplan als grafische Eingabefachsprache für speicherprogrammierbare Steuereinrichtungen. msr, Berlin 28 (1985) 6, S. 261—263.
msr 8554

Anhang 1. Kontaktplan-Dokumentation — Zentrifugenantriebssteuerung (vgl. Bild 4)

```
+ ------------------------------------------------ +
|  Kontaktplan-Dokumentation           KONTAKTPLAN |
+ ------------------------------------------------ +
| ZENTRI:                                      001
| AUS      EIN        THERMO                HILF_1 |
*--]/[--*--] [--*--]/[------------------------( )--*
|       |        |                                 |
|       |HILF_1  |                                 |
|       |--] [---|                                 |
| !SPEICHER FUER EIN-BEFEHL, BIMETALL-AUSLOESER    |
|                                                  |
|                                              002
| HILF_1                                   ZHILF_1 |
*--] [---------------------------------------(( )--*
|                                            5:00S |
|                                                  |
| !UMSCHALTVERZOEGERUNG N1 NACH N2: 5:00 SEK.      |
|                                                  |
|                                              003
| HILF_1  ZHILF_1  RDREH21  RDREH22         DREH_1 |
*--] [------]/[------]/[------]/[-------------( )--*
```

(Anhang 1. (Fortsetzung))

```
|!DREHZAHL N1, VERRIEGELT MIT SCHUETZEN DER DREHZAHL N2
| RUECKMELDEKONTAKTE VON DREH_21 UND DREH_22       |
|                                                  |
|                                                004
| HILF_1     ZHILF_1    RDREH1           DREH_21 |
*--] [------] [------]/[-------------------( )-*
|                                                  |
|                                                005
| DREH_21                                DREH_22 |
*--] [-------------------------------------( )-*
|                                                  |
| !DREHZAHL N2, VERRIEGELT MIT SCHUETZEN DREHZAHL |
| N1 RUECKMELDEKONTAKT VON DREH_1                 |
|                                                  |
+-------------------------------------------------+|
| Datum:      08.07.1986   |      ZENTRI.SYM         |
| Aenderung:  -            |-------------------------|
| Version:    V 2.0        | ZENTRIFUGENANTRIEB | Blatt |
| Bearbeiter: P. SCHOELZEL |                    |       |
|                          |                    | 000001 |
+--------------------------------------------------+
```

Anhang 2a. Funktionsplan-Dokumentation/Grobstruktur — Antrieb mit Hochspannungsmotor (vgl. Bild 5)

```
+-------------------------------------------------+
| Funktionsplan-Dokumentation        FUP-UEBERSICHT |
+-------------------------------------------------+
        V
       000
        V
        |
    +--------+
    |  001   |          001  VORBEREITUNG
    +--------+          002  EINSCHALEN
    |  002   |          003  LOSBRECHEN
    +--------+          004  ANLASSEN
    |  003   |          005  BETRIEB
    +--------+          006  -
    |  004   |          007  ENDE
    +--------+
    |  005   |
    +--------+
    |  006   |
    +--------+
    |  007   |
    +--------+
        |
        V
       000
        V
+-------------------------------------------------+
| Datum:      07.07.1986   | HOCHSPANNUNGSMOTOR      |
| Aenderung:  -            |-------------------------|
| Version:    V 2.0        | FUNKTIONSPLANBEISPIEL | Blatt |
| Bearbeiter: L. HOFFMANN  | NACH [14]             |       |
|                          |                       | 000001 |
+-------------------------------------------------+
```

Anhang 2b. Funktionsplan-Dokumentation/Feinstruktur — Antrieb mit Hochspannungsmotor (vgl. Bild 5)

```
+-------------------------------------------------+
| Funktionsplan-Dokumentation            FUP-ABLAUF |
+-------------------------------------------------+
    V
   000
    V
    |        +-E1.0 !STARTTASTE
    |        |
+---------+    +--+-----------------------+
| 001     |-+-| S  | A1.0=1 !LUEFTERANTRIEB EIN |
+---------+    +--+-----------------------+
|VORBEREITUNG|  | S  | A1.1=1 !OELPUMPENANTRIEB |
|         |    |    |         EIN              |
+---------+    +--+-----------------------+
    |
    |        +-E2.0*E2.1*E2.2  !TEMPERATUR LAGER, OEL,
    |                           WICKL
    |        +-E1.4             !ANLASSER IN STARTPOSITION
    |        +-E2.3*E2.4        !LUEFTER, OELPUMPE SIND EIN
    |        |
```

(Anhang 2b. (Fortsetzung))

```
+---------+    +--+------------------------+
| 002     |-+-| S  | A1.2=1 !LEISTUNGSSCHALTER |
|         |    |    |        EIN                |
+---------+    +--+------------------------+
| EINSCHALTEN |  | S  | A2.0=1 !MELDUNG „ANLAUF“ |
+---------+    +--+------------------------+
    |
    |        +-E1.2 !LEISTUNGSSCHALTER IST EIN
    |        |
+---------+    +--+------------------------+
| 003     |-+-| NSD | M5.1=1,1:00S !LOSBRECHZEIT |
+---------+    +--+------------------------+
| LOSBRECHEN |  | SD  | M5.2=1,1:00M !HOCHLAUF-  |
|         |    |     |              KONTROLLE   |
+---------+    +--+------------------------+
    |
    |        +-M5.1 !LOSBRECHZEIT 1 S VORBEI
    |        |
+---------+    +--+------------------------+
| 004     |-+-| S  | A1.4=1 !ANLASSER-HOCHLAUF |
|         |    |    |        EIN                |
+---------+    +--+------------------------+
| ANLASSEN |    | SD | M5.3=1,30:00S !ANLASSKON- |
|         |    |    |               TROLLE      |
+---------+    +--+------------------------+
    |
    |        +-E1.5 !ANLASSER IN ENDPOSITION
    |        |
+---------+    +--+------------------------+
| 005     |-+-| S  | A1.4=0 !ANLASSER-HOCHLAUF |
|         |    |    |        AUS                |
+---------+    +--+------------------------+
| BETRIEB |     | S  | A1.5=1 !LAEUFER KURZSCHL. |
| +-------+    +--+------------------------+

+-------------------------------------------------+
| Datum:      07.07.86     | HOCHSPANNUNGSMOTOR      |
| Aenderung:  -            |-------------------------|
| Version:    V 2.0        | FUNKTIONSPLAN     | Blatt |
| Bearbeiter: L. HOFFMANN  | BEISPIEL          |       |
|                          | NACH [14]         | 000001 |
+-------------------------------------------------+

+-------------------------------------------------+
| Funktionsplan-Dokumentation            FUP-ABLAUF |
+-------------------------------------------------+
    |        +-E1.6 !LAEUFER KURZGESCHLOSSEN, BUERSTEN
    |               AB
    |        |
+---------+    +--+------------------------+
| 006     |-+-| S  | A1.5=1 !ANLASSER-RUECKLAUF|
|         |    |    |        EIN                |
+---------+    +--+------------------------+
|         |    | ST | M5.3=0,0 !ANLASSKONTROLLE |
|         |    |    |          AUS              |
+---------+    +--+------------------------+
    |
    |        +-E1.4 !ANLASSER IN AUSGANGSSTELLUNG
    |        |
+---------+    +--+------------------------+
| 007     |-+-| S  | A1.5=0 !ANLASSER-RUECKLAUF|
|         |    |    |        AUS                |
+---------+    +--+------------------------+
| ENDE    |    | S  | A2.1=1 !MELDUNG „ANLAUF   |
|         |    |    |         BEENDET“          |
+---------+    +--+------------------------+
    |          | ST | M5.2 = 0,0 !HOCHLAUFKON-  |
    |          |    |            TROLLE AUS     |
    |          +--+------------------------+
    |          | S  | A2.0=0 !MELDUNG „HOCHLAUF“|
    |          |    |        AUS                |
    |          +--+------------------------+
    V
   000
    V

+-------------------------------------------------+
| Datum:      07.07.86     | HOCHSPANNUNGSMOTOR      |
| Aenderung:  -            |-------------------------|
| Version:    V 2.0        | FUNKTIONSPLANBEISPIEL | Blatt |
| Bearbeiter: L. HOFFMANN  | NACH [14]             |       |
|                          |                       | 000002 |
+-------------------------------------------------+
```

J.-A. Müller

Auswahl von Modellen optimaler Kompliziertheit

0. Einführung und Problemstellung

Offensichtlich existieren unterschiedliche Wege, um zu einem mathematischen Modell zu kommen. Für eine umfangreiche Aufgabenklasse — die Klasse der Interpolationsaufgaben — läßt sich die Aufgabe der experimentellen Systemanalyse folgendermaßen formulieren:
Gegeben ist ein System, wobei $\boldsymbol{u} = (u_1, \dots, u_N)$ der Vektor der Eingangsgrößen, e die Störgröße und y die Ausgangsgröße darstellen. Als Ergebnis der Beobachtungen steht ein begrenzter Umfang an Realisierungen der Eingangsgrößen $\boldsymbol{u}_t$ und der Ausgangsgröße y_t, $t = 1, 2, \dots, T$ zur Verfügung.
Gesucht ist die mathematische Beschreibung

$$y_t^m = f(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{a}) + e_t ,$$

wobei $\boldsymbol{x}$ für dynamische Systeme den Vektor der unverzögerten und verzögerten Eingangsgrößen und der verzögerten Ausgangsgröße

$$\boldsymbol{x}_t^T = (u_{1t}, u_{1t-1}, \dots, u_{1t-g1}, \dots, u_{Nt}, u_{Nt-1}, \dots, u_{Nt-gN}, y_{t-1}, \dots, y_{t-g_0})$$

darstellt, $\boldsymbol{a}$ der Vektor der Modellparameter und e_t die im Modellfehler (Abweichung) zusammengefaßten Störeinflüsse sind. Entsprechend dem Unbestimmtheitsprinzip von *Kalman* [1] hat diese Aufgabe keine eindeutige Lösung.
Eine Möglichkeit, die vorhandene Unbestimmtheit zu reduzieren, besteht in der theoretischen Systemanalyse. Die der theoretischen Systemanalyse und dem axiomatischen Herangehen zugrunde liegende Modellbildung ist bei ausreichender und zuverlässiger A-priori-Information über das zu untersuchende komplizierte System, d. h. über die

- wichtigsten Einflußgrößen
- funktionelle Abhängigkeit der Ausgangsgröße von den Einflußgrößen
- Störgröße,

insbesondere für die Theorienbildung gut geeignet und hat sich in der praktischen Anwendung außerordentlich gut bewährt. Auf die Probleme, die mit einer deduktiven Modellbildung zusammenhängen, wurde bereits in [2] hingewiesen. Die von *Zypkin* begründete informationelle Theorie der Identifikation ermöglicht auf dieser Grundlage, ausgehend von typischen Klassen von Identifikationsaufgaben, die sich entsprechend dem vorhandenen Niveau der A-priori-Information ergeben, einen eindeutigen Zusammenhang zwischen optimalen Identifikationsalgorithmen einerseits und mathematischem Modell, Gütekriterium und Klasse der Verteilungsfunktionen andererseits herzustellen [3].
Letztendlich führt die Entwicklung auf die Anwendung des Dialogs zur Berücksichtigung der beim Anwender vorhandenen A-priori-Information. Entwickelt wurden gegenwärtig hochqualifizierte Programmsysteme mit einem maximalen Grad an Automatisierung der Etappen der Konstruktion, Lösung und Analyse des Modells (siehe z. B. [4]).
Durch interaktive Modellbildung wird die beim Anwender vorhandene Unbestimmtheit bezüglich der Modellbildung reduziert, der Anwender formuliert schrittweise sein Problem und kann auf Zwischenergebnisse und Besonderheiten aus seiner Problemkenntnis heraus rasch reagieren. Auf diese Weise gelingt es, mit Hilfe der sich zur Zeit stürmisch entwickelnden Informationstechnik den hohen Anteil, den die Modellbildung an der Aufgabenlösung hat (er wird nach *Shannon* mit 75—90% eingeschätzt [5]) durch einen rechnergestützten Entwurf mathematischer Modelle zu reduzieren. Unabhängig davon wird eine weitere Richtung bedeutsam, die sich mehr oder weniger unabhängig und unvollständig zunehmend in der mathematischen Statistik selbst, aber auch bei der Simulation [6], bei der ökonometrischen Modellierung [7], in der Selbstorganisation [2] u. a. entwickelt. Sie beruht auf der Anwendung von Prinzipien der rechnergestützten Modellwahl.

1. Auswahl eines Modells optimaler Kompliziertheit

1.1. *Aufgabenstellung*

Die Aufgabenstellung der experimentellen Systemanalyse wird durch folgende Aufgabenstellung ersetzt (siehe auch [8] und [9]):

Voraussetzungen:

1. Es existiert eine eindeutige Abbildung der Einflußgrößen $\boldsymbol{x}$ in die skalare Ausgangsgröße y
$$y = f(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{a}) .$$
2. Gegeben ist eine Menge $\boldsymbol{F}$ von Funktionen $f_r(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{a}^r)$, wobei $\boldsymbol{a}^r$ die entsprechenden Modellparameter sind.
3. Gegeben ist auf einer Menge $\boldsymbol{F}$ von Funktionen, die zur Beschreibung der Abbildung der Eingangsgrößen in die Ausgangsgröße ausgewählt wurden, folgende Struktur:
Es existieren, ausgehend von einer Teilmenge $\boldsymbol{F}_1$ von Elementarfunktionen, Teilmengen $\boldsymbol{F}_i$ $(i = 2, 3, \dots, q)$, die die vorhergehende Teilmenge $\boldsymbol{F}_{i-1}$ enthalten. Damit gilt $\boldsymbol{F}_1 \subset \boldsymbol{F}_2 \subset \dots \subset \subset \boldsymbol{F}_q$. Die Teilmenge $\boldsymbol{F}_q$ falle mit der Menge $\boldsymbol{F}$ der Funktionen zusammen.
4. Die Struktur sei so vorgegeben, daß die Kompliziertheit k_i der Funktionen der Teilmenge $\boldsymbol{F}_i$ kleiner ist als die Kompliziertheit der in der Teilmenge $\boldsymbol{F}_{i+1}$ enthaltenen Funktionen, d. h., es gilt $k_1 < k_2 < \dots < k_q$ (siehe Abschn. 1.2.).
5. Gegeben ist eine Menge von Beobachtungen $\boldsymbol{X} = \{x_1, \dots, x_T\}$.
6. Gegeben ist ein T-dimensionaler Vektor $\tilde{\boldsymbol{y}}$ der Beobachtungen der Ausgangsgröße in den Punkten der Menge $\boldsymbol{X}$
$$\tilde{y}_i = f(\boldsymbol{x}_i, \boldsymbol{a}) + e_i , \qquad i = 1, 2, \dots, T ,$$
wobei e_i unabhängige, gleichverteilte Zufallsgrößen mit dem Erwartungswert $E(e_i) = 0$ und der Dispersion $D^2(e_i) = = \sigma_e^2 < \infty$ sind.

Gesucht:

Modell optimaler Kompliziertheit, d. h. ein solches Element der Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$, $r = 1, 2, \dots, q$ mit der Kompliziertheit k_r, das ein vorgegebenes Auswahlkriterium Q minimiert.

1.2. *Bestimmung der Kompliziertheit*

Für die Menge der Funktionen $\boldsymbol{F}$, die für die Beschreibung linearer Modelle der Art

$$y_t^M = \sum_{j=0}^{M} a_j x_{jt}$$

notwendig ist, ist die Bestimmung der Kompliziertheit problemlos, sie entspricht der Anzahl der Argumente.
Das heißt, für die r-te Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$ gilt $k_r = r$, wobei r die Anzahl der von Null verschiedenen Koeffizienten a_i und damit der im Modell enthaltenen Einflußgrößen (einschließlich x_{0t}) darstellt. Offensichtlich ergeben sich für die r-te Teilmenge $\binom{M+1}{r}$ verschiedene Modellvarianten, deren Kompliziertheit entsprechend dieser Bestimmung als gleichwertig anzusehen ist. Schwieriger wird die Bestimmung der Kompliziertheit für nichtlineare Modelle (z. B. ARIMA-Modelle). Für diesen Fall entwickelte *Ivachnenko* [24] einen robusten Algorithmus, mit dessen Hilfe der Rechner die Teilmengen $\boldsymbol{F}_r$ aber auch innerhalb dieser die Modellvarianten entsprechend ihrer wachsenden Kompliziertheit automatisch anordnet. Dieser Algorithmus erlaubt bei gegebenen Realisierungen x_{jt}, $t = 1, \dots, T$, eine Unterscheidung

---

Prof. Dr. sc. oec. Dr.-Ing. *Johann-Adolf Müller* (46) studierte von 1959 bis 1965 an der TH Ilmenau Regelungstechnik. 1965 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energetik. Von 1965 bis 1968 Aspirant am Moskauer Energetischen Institut am Lehrstuhl Avtomatika i telemechanika. 1968 Kandidat der technischen Wissenschaften (Dr.-Ing.). Seit 1968 an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner", jetzt Sektion Wirtschaftsinformatik. 1971 Berufung als Hochschuldozent. 1978 Promotion B auf dem Gebiet der dynamischen Modellbildung in der Ökonomie. 1985 Berufung zum außerordentlichen Professor. Leiter des Wissenschaftsbereichs Systemforschung.

der $\binom{M+1}{r}$ Modellvarianten der Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$, die r Einflußgrößen haben, bezüglich der Zusammensetzung dieser Einflußgrößen.

Eine analytische allgemeingültige Möglichkeit bietet offensichtlich die Anwendung der im Rahmen der Methode der strukturellen Minimierung definierten Indikatorfunktion [8].

1.3. *Lösungsetappen*

Die Lösung der im Abschn. 1.1. formulierten Aufgabe beinhaltet die folgenden Teilaufgaben:

1. Wahl der Modellstruktur (Menge der Funktionen $\boldsymbol{F}$)

Ausgehend von der vorhandenen A-priori-Information ist eine Modellklasse zu wählen, die alle möglichen Spezialfälle enthält (ausführlicher [1]).

2. Generierung der Modellvarianten

Offensichtlich sind ganz unterschiedliche Prinzipien der Generierung alternativer Modellvarianten (innerhalb der Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$ und mit wachsender Kompliziertheit) möglich. In allen Fällen wird offensichtlich eine Menge von Elementarmodellen benötigt. Ihre geeignete Wahl und die Art und Weise ihrer Verknüpfung zu komplizierteren Modellen entsprechend einer Vorschrift zur Erzeugung komplizierterer Modellvarianten bestimmt den Erfolg der rechnergestützten Modellbildung. In den Algorithmen zur Selbstorganisation mathematischer Modelle werden unterschiedliche Algorithmen zur stufenweisen Erhöhung der Kompliziertheit (vollständige und unvollständige Induktion) vorgeschlagen (ausführlicher dazu siehe [1]).

3. Schätzung der Modellparameter der Modellvarianten der Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$

Die Aufgabe, diese r unbekannten, von Null verschiedenen Modellparameter $\boldsymbol{a}^r$ mit Hilfe der Beobachtungen von Eingangs- und Ausgangsgrößen zu schätzen, kann als eine Aufgabe der statistischen Parameterschätzung gelöst werden. Die von *Zypkin* entwickelte informationelle Theorie der Identifikation ermöglicht, das vorliegende Niveau der A-priori-Information über die Störgrößen zu berücksichtigen und führt damit zu einer eindeutigen Auswahl der Verlustfunktion. Für eine gegebene Klasse von Objekten und ein gegebenes Niveau der A-priori-Information über die Abweichung in Form der Zugehörigkeit der weitgehend unbekannten Verteilungsfunktion zu einer gegebenen Verteilungsklasse wird die für diese Klasse optimale Verlustfunktion (die der dieser Klasse angehörenden ungünstigsten Verteilungsfunktion entspricht) bestimmt [3].

In allen diesen Fällen wächst jedoch aufgrund der im allgemeinen nichtquadratischen Verlustfunktion der numerische Aufwand zur Bestimmung der unbekannten Modellparameter erheblich an. Beachtet man die große Anzahl der für jede Teilmenge $\boldsymbol{F}_r$ notwendigen Parameterschätzungen, so wird man doch weitgehend quadratische Verlustfunktionen in Kauf nehmen müssen.

4. Auswahl eines Modells optimaler Kompliziertheit

Diese Auswahl erfolgt in 2 Etappen. In der ersten Etappe werden aus jeder Teilmenge $\boldsymbol{F}_r \subset \boldsymbol{F}$, $r = 1, 2, \dots, q$ die besten Modelle $f_r^* \in \boldsymbol{F}^*$ ausgewählt

$$f_r^* = \arg \min_{f \in \boldsymbol{F}_r} Q(f)\,,$$

während im zweiten Schritt das globale Minimum als Modell f^* optimaler Kompliziertheit bestimmt wird

$$f^* = \arg \min_{f_r^* \in \boldsymbol{F}^*} Q(f_r^*)\,.$$

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, geeignete Auswahlkriterien Q zu bestimmen. Das ist nicht unabhängig von der Aufgabenstellung und der Modellklasse möglich.

2. Kriterien zur Auswahl des Modells optimaler Kompliziertheit

2.1. *Vorbemerkung*

Bei der Formulierung von Auswahlkriterien für ein Modell optimaler Kompliziertheit ist zumindest zweierlei zu beachten:

1. Offensichtlich ist die Auswahl eines Modells optimaler Kompliziertheit aus der Menge der möglichen Modelle eigentlich keine formale Aufgabe, d. h. keine mathematische Aufgabe. Die Beurteilung der Güte der Anpassung lediglich nach formalen Kriterien, z. B. nach der Übereinstimmung der Ausgangsgrößen von Modell und realem System, ist zweifelhaft. Erforderlich wird, ausgehend von der Eignung des Modells zur Lösung der gestellten Aufgabe, eine zweckmäßige Beurteilung der notwendigen Güte der Anpassung. Eine solche Aufgabe soll im weiteren die Vorhersage sein. Dementsprechend werden solche Auswahlkriterien benötigt, die in die Gütebewertung die Eignung der Modelle für zukünftige, von den beobachteten Werten verschiedene Realisierungen $(\tilde{y}_t, \boldsymbol{x}_t)$, $t = T+1, \dots, T+\tau$ mit einbeziehen, die als Prüffolge bezeichnet werden sollen.
2. Man kann die Auswahlkriterien nach der Information, die sie nutzen, in innere und äußere Kriterien unterteilen [1]. Innere Kriterien sind Kriterien, die keine zusätzliche unabhängige Information verwenden und nur die Beobachtungen nutzen, die bereits zur Parameterschätzung verwendet wurden (Lernfolge). Demgegenüber wird im weiteren ein Kriterium, das auf der Grundlage von Information ermittelt wurde, die nicht bereits bei der Parameterschätzung Verwendung gefunden hat, als äußeres Kriterium bezeichnet. Innere Kriterien können kein Modell optimaler Kompliziertheit auswählen (siehe [1]).
Angewendet auf die vorliegende Aufgabe bedeutet das: Mit den Daten der Lernfolge, die bereits zur Parameterschätzung verwendet wurden, kann man prinzipiell ohne weitere äußere Information keine besten Modelle oder ein Modell optimaler Kompliziertheit finden. Dazu ist ein äußeres Kriterium notwendig, das sich entweder durch zusätzliche Ausnutzung der vorhandenen A-priori-Information oder aber bei fehlender A-priori-Information durch Bewertung der Modellgüte mit zusätzlichen Beobachtungen (Prüffolge) ergibt. In der Praxis sind diese beiden Möglichkeiten nicht getrennt anzuwenden.

Im weiteren werden einige der in der Literatur bekannten Auswahlkriterien dargestellt, wobei nur die passiven Experimente betrachtet werden, d. h., bei vorhandenen Beobachtungen $(\tilde{y}_t, \boldsymbol{x}_t, t = 1, 2, \dots, T)$ ist das Modell optimaler Kompliziertheit auszuwählen.

Daneben gibt es Diskriminanzkriterien, die bei aktiven Experimenten Anwendung finden können. Aufgabe der Versuchsplanung ist es, die unabhängigen Veränderlichen so zu verändern, daß eine Unterscheidung der Modelle und die Auswahl eines Modells optimaler Kompliziertheit möglich wird [25].

2.2. *Auswahlkriterien ohne Aufteilung der Beobachtungen*

In der Regel werden die zukünftigen Beobachtungen von den Beobachtungen der Lernfolge abweichen. Unterscheiden sie sich nur wenig, kann man erwarten, daß das Modell auch für diese Daten eine gute Anpassung liefert. Zur Kennzeichnung dieser Anpassung für ein Modell der Teilmenge $\boldsymbol{F}_p$ kann man als Schätzung der unbekannten Varianz der Abweichung

$$s_\tau^2 = \frac{1}{\tau} \sum_{t=T+1}^{T+\tau} (\tilde{y}_t - f_p(\boldsymbol{x}_t, \hat{\boldsymbol{a}}))^2 = \frac{1}{\tau} \sum_{t=T+1}^{T+\tau} e_t^2$$

verwenden, wobei $\hat{\boldsymbol{a}}$ die Schätzung der Modellparameter auf der Lernfolge darstellt.

Eine große Klasse von Auswahlkriterien in der mathematischen Statistik, die zunehmend Verbreitung finden, nutzt eine Schätzung des Erwartungswertes $E(s_\tau^2)$ (expected squared error). Unter den in Abschn. 1.1. getroffenen Annahmen (Pkt. 6.), die nunmehr auch für die Prüffolge gelten sollen, besteht dieses Kriterium aus folgenden zwei Bestandteilen

$$E(s_\tau^2) = \sigma_e^2 + E\left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=T+1}^{T+\tau} (f(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{a}) - f_p(\boldsymbol{x}_t, \hat{\boldsymbol{a}}))^2\right],$$

d. h. aus dem Erwartungswert der quadratischen Abweichung des unbekannten idealen Modells $f(\boldsymbol{x}_t, \boldsymbol{a})$ und dem Erwartungswert der Differenz zwischen idealem Modell und dem Modell der Teilmenge $\boldsymbol{F}_p$ auf der Prüffolge [13].

Ein natürlicher Weg zur Schätzung des Erwartungswertes $E(s_\tau^2)$ und damit zur Konstruktion eines Auswahlkriteriums ist es, wenn man einen Teil der vorhandenen Beobachtungen der Lernfolge vorenthält. Sind diese Realisierungen unabhängig von

den Realisierungen der Lernfolge, so kann man sie als zukünftige Beobachtungen (Prüffolge) ansehen und zur Schätzung von $E(s_\tau^2)$ verwenden. Cross-Validation, Forward-Validation u. a. Aufteilungsvorschriften in Lern- und Prüffolge gehen so vor (ausführlicher s. Abschn. 2.3.). Liegen genügend Beobachtungen vor, so wird eine derartige Herangehensweise auch die einzig richtige sein. Sie beinhaltet jedoch neben der Reduzierung der Anzahl der Realisierungen zur Ermittlung der Modellparameter der Modellvarianten (Lernfolge) und der teilweise beträchtlichen Erhöhung der Berechnungen (Cross- und Forward-Validation) eine Unbestimmtheit in der Auswahl einer konkreten Aufteilungsvorschrift (siehe [29]).

Die in der mathematischen Statistik entwickelten Kriterien setzen mehr oder weniger die Kenntnis mathematisch-statistischer Kenngrößen der Abweichungen e_t voraus.

Akaike [10] hat gezeigt, daß auf der Lösungsmenge der nicht eindeutig lösbaren Aufgabe der experimentellen Systemanalyse die Dispersion der Vorhersage der Ausgangsgröße mit wachsender Zahl der Einflußgrößen der Regressionsmodelle bzw. mit wachsender Ordnung der Differenzengleichungen wächst. Dementsprechend realisieren diese Kriterien einen Kompromiß zwischen der Verringerung des Approximationsfehlers und der Vergrößerung der Kompliziertheit des Modells. Das Anwachsen der Kompliziertheit wird mit Hilfe eines „Strafterms" $S(p, T)$ (mit $S(p, T) \to 0$ für $T \to \infty$) beschränkt, in den lediglich die Anzahl der zu schätzenden Parameter p bzw. das Verhältnis dieser zur Anzahl der verwendeten Realisierungen p/T eingehen. (Denkt man z. B. an komplizierte ARIMA-Modelle, so wird deutlich, daß es für die Kompliziertheit nicht gleichgültig ist, an welcher Stelle und wieviel Parameter stehen.)

Die Tafel enthält ausgewählte Kriterien, die sich bei entsprechender A-priori-Information über die Abweichungen e_t ergeben.

Neben diesen Kriterien existieren verschiedene Kriterien, die von vornherein so entwickelt wurden, daß sie keine A-priori-Information bzw. nur solche voraussetzen, die in jedem Fall vorhanden ist. Als erstes sei hier auf das Adäquatheitskriterium nach *Vapnik* verwiesen. Dieses Kriterium findet in der Methode der strukturellen Minimierung erfolgreiche Anwendung für den Fall, daß gilt [8]

$$\sup_{a} \frac{E(e^4)}{E(e^2)} \leqq \lambda .$$

Tafel. Auswahlkriterien ohne Aufteilung der Beobachtungen

Bezeichnung		Kriterium	gegeben
$s^2_{e,p}$	[11]	$\frac{T}{T-p} s_e^2$	
final prediction error (FPE)	[12]	$\frac{T+p}{T-p} s_e^2$	
predicted squared error (PSE)	[13]	$s_e^2 + 2\sigma_p^2 \frac{p}{T}$	σ_p^2-Schätzung von σ_e^2
Mallow C_p	[14]	$\frac{T s_e^2}{\sigma_c^2} + 2p - T$	σ_c^2-obere Grenze für σ_e^2
AIC	[15]	$T \ln s_e^2 + 2p + c$	
BIC	[16]	$T \ln s^2_{e,p} + p \ln \left(\frac{s^2_{ym}}{s^2_{e,p}} \frac{T}{p} \right)$	
Schwarz	[17]	$s_e^2 + s_y^2 \ln T \frac{p}{T}$	
Rissanen	[18]	$T \ln s_e^2 + p \ln T$	
Kočerka	[19]	$2p \frac{s_e^2}{T-p} - T s^2_{ym}$	

$$s_e^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (\tilde{y}_t - y_t^m)^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} e_t^2$$

$$s_y^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (\tilde{y}_t - \bar{y})^2$$

$$s^2_{ym} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} y^2_{tm}$$

Die Wahl von $\lambda = 2{,}5$ erlaubt die Anwendung für eine große Klasse von Verteilungen der Abweichungen, z. B. Normalverteilung ($\lambda = 2$), Gleichverteilung ($\lambda = \sqrt{2}$), Laplace-Verteilung ($\lambda = \sqrt{5}$) u. a. [20]. *Vapnik* verwendet als Kriterium eine Schätzung von σ_e^2, die mit der Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ für alle Funktionen der Funktionsmenge erfüllt ist.

Es gilt:

$$\sigma_\epsilon^2 < \\ > \frac{s_e^2}{\left[1 - \lambda \sqrt{\frac{k(\ln(T/k) + 1) - \ln \alpha}{T} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{\ln(T/k) + 1 - \ln \alpha}{T}\right)}\right]_+},$$

wobei

$$[A]_+ = \begin{cases} A & \text{für} \quad A \geqq 0 \\ 0 & \text{für} \quad A < 0 . \end{cases}$$

k ist die von *Vapnik* definierte Kompliziertheit. Dieses Kriterium ermöglicht insbesondere für eine geringe Anzahl von Beobachtungen (d. h. für $T \ll 10\,k$) eine obere Schätzung der unbekannten Varianz σ_e^2, die mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α garantiert wird.

In den Algorithmen der Selbstorganisation mathematischer Modelle finden darüber hinaus weitere Kriterien Anwendung, die keine A-priori-Information benötigen. Neben dem Stationaritätskriterium [26] wird insbesondere das Kriterium der schrittweisen Integration [1] angewendet. Dieses Kriterium bewertet den mittelquadratischen Fehler, der sich durch schrittweise Integration ergibt, und berechnet sich entsprechend

$$i^2(N) = \frac{\sum_{t=1}^{T} (\tilde{y}_t^M - \tilde{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^{T} \tilde{y}_t^2} .$$

Im Unterschied zum Kriterium der mittelquadratischen Abweichung, bei dem für $t = 1, \ldots, T$ eine Vorhersage nur für einen Schritt, ausgehend von den entsprechenden Werten der beobachteten Variablen, z. B. $\tilde{y}_{t+1}^M = f(\tilde{y}_t)$ (Einschrittverfahren), berechnet wird, erfolgt bei diesem Kriterium die schrittweise Vorhersage aller Schritte, z. B. $\tilde{y}_{t+1}^M = f(\tilde{y}_t^M)$.

Daneben kann man auch die Bilanzkriterien zu dieser Klasse zählen, wenn man die Gesetzmäßigkeit, die für den Beobachtungszeitraum gleichermaßen wie für die Zukunft Gültigkeit hat, in einer Vorstufe z. B. mit den Algorithmen der Selbstorganisation schätzt (siehe z. B. [1]).

2.3. *Auswahlkriterien mit Aufteilung der Beobachtungen*

Wie bereits im Abschn. 2.2. erwähnt, liegt es nahe, zur Schätzung des unbekannten Erwartungswertes $E(s_\tau^2)$ und damit zur Konstruktion eines Auswahlkriteriums einen Teil der vorliegenden Beobachtungen der Lernfolge vorzuenthalten und diese Realisierungen (Prüffolge) zur Schätzung von $E(s_\tau^2)$ zu verwenden. Dabei findet man fast alle im Abschn. 2.2. angegebenen Schätzkriterien, insbesondere die Informationskriterien AIC, BIC, die PSE-Schätzung und das Adäquatheitskriterium nach *Vapnik* in Verbindung mit unterschiedlichen Aufteilungsprinzipien vertreten, wobei im Zusammenhang mit den statistischen Kriterien insbesondere die Cross-Validation und die Forward-Validation verbreitet sind.

Beim Cross-Validation wird von den T vorliegenden Beobachtungen jeweils eine Realisierung als Prüfpunkt ausgesondert und auf den übrigen $t - 1$ Realisierungen (Lernfolge) das Modell geschätzt. Als Auswahlkriterium wendet man nun den Mittelwert über alle T Prüfpunkte der jeweiligen Gütefunktion an, so z. B. bei der PRESS- oder PSS-Statistik (prediction sum of squares)

$$PSS = \sum_{t=1}^{T} (\tilde{y}_t - f_r(\boldsymbol{x}_t, \hat{\boldsymbol{a}}_t))^2 ,$$

wobei $\hat{\boldsymbol{a}}_t$ die Schätzung der unbekannten Modellparameter auf der Lernfolge ist, die nicht die t-te Realisierung enthält.

Demgegenüber werden bei der Forward-Validation die T Beobachtungen der Zeitreihe in $S + N$ Beobachtungen für die Bildung von Lernfolgen

$$(\tilde{y}_t, \boldsymbol{x}_t) , \qquad t = S - k + 2, S - k + 3, \ldots, S + N - k + 1$$

und $k = 1, 2, \ldots, \tau$ sowie τ verschiedene Prüfpunkte $(\tilde{y}_t, \boldsymbol{x}_t)$, $t = N + S + j,\ j = \tau,\ \tau - 1, \ldots, 1$ aufgeteilt. Dementsprechend gilt dann als Auswahlkriterium

$$\sum_{k=1}^{\tau} (\tilde{y}_{N+S+k} - f_r(\boldsymbol{x}_{N+S+k}, \hat{\boldsymbol{a}}_k))^2 ,$$

wobei $\hat{\boldsymbol{a}}_k$ die Schätzung der unbekannten Modellparameter auf der k-ten Lernfolge ist.

Prinzipiell sind beliebige Aufteilungen der Beobachtungen denkbar und in der Selbstorganisation mathematischer Modelle auch zu finden (siehe z. B. [1]). Es empfiehlt sich in einigen Fällen, in die Prüffolge jene Realisierungen zu nehmen, die wenig streuen, so daß die Kovarianz der Prüffolge wesentlich geringer ist als die Kovarianz der Lernfolge. Besteht jedoch keine Sicherheit über die richtige Wahl der Funktionsmenge, so empfiehlt sich eine Aufteilung mit gleichen statistischen Eigenschaften, wie sie z. B. mit Hilfe der DUPLEX-Prozedur [2] erreicht werden kann.

In verschiedenen Fällen treten darüber hinaus noch Examinationsfolgen als dritte Teilfolge auf.

Die im Rahmen der Selbstorganisation mathematischer Modelle entwickelten Auswahlkriterien kann man in 2 Gruppen einteilen:

- Genauigkeitskriterien, die die Abweichung des zu überprüfenden Modells vom beobachteten Ausgang auf unterschiedlichen Folgen beinhalten
- Übereinstimmungskriterien, die die Übereinstimmung der Schätzung, die auf unterschiedlichen Folgen erhalten wurde, bewerten.

Werden die Realisierungen der Lernfolge (N_A) und der Prüffolge (N_B) gleichwertig genutzt, so spricht man von symmetrischen, ansonsten von unsymmetrischen Kriterien.

A. Genauigkeitskriterien

Zu diesen Kriterien gehören die Regularitätskriterien

$$\Delta^2(B) = \sum_{t \in N_B} (\tilde{y}_t - y_t^M(A))^2 ,$$

wobei $y_t^M(A)$ angeben soll, daß das Modell auf der Lernfolge N_A geschätzt wurde. Diesem unsymmetrischen Kriterium entspricht das unsymmetrische Kriterium

$$\Delta^2(A) = \sum_{t \in N_A} (\tilde{y}_t - y_t^M(B))^2 ,$$

woraus sich leicht das symmetrische Regularitätskriterium

$$d^2 = \Delta^2(B) + \Delta^2(A)$$

konstruieren läßt.

Die Stabilitätskriterien fordern, daß das Modell optimaler Kompliziertheit eine ausreichend gute Genauigkeit auf der Lernfolge und Prüffolge erreicht, d. h.

$$\varkappa^2 = \sum_{t \in N_A \cup N_B} (\tilde{y}_t - y_t^M(A))^2$$

bzw. in symmetrischer Form

$$S^2 = \sum_{t \in N_A \cup N_B} [(\tilde{y}_t - y_t^M(A))^2 + (\tilde{y}_t - y_t^M(B))^2] .$$

Als eine Entartung kann man offensichtlich die Cross-Validation ansehen

$$\Delta_m^2 = \frac{1}{T} \sum_{t \in N_A \cup N_B} (\tilde{y}_t - y_t^M(A \cup B/t))^2 .$$

B. Übereinstimmungskriterien

Diese Kriterien stellen eine zusätzliche Forderung an die Modellgüte dar. Sie fordern z. B. die Unverzerrtheit, d. h., daß das Modell optimaler Kompliziertheit entweder auf der Lernfolge und Prüffolge Schätzungen der Modellparameter ergibt, die sich nur minimal unterscheiden

$$\eta_{\mathrm{unv},1}^2 = \sum_{i=1}^{M} (a_i^A - a_i^B)^2 ,$$

oder es bewertet die Übereinstimmung der Modellausgänge der Modelle, die auf Prüffolge bzw. Lernfolge geschätzt wurden

$$\eta_{\mathrm{unv},2}^2 = \sum_{t \in N_A \cup N_B} (y_t^M(A) - y_t^M(B))^2 .$$

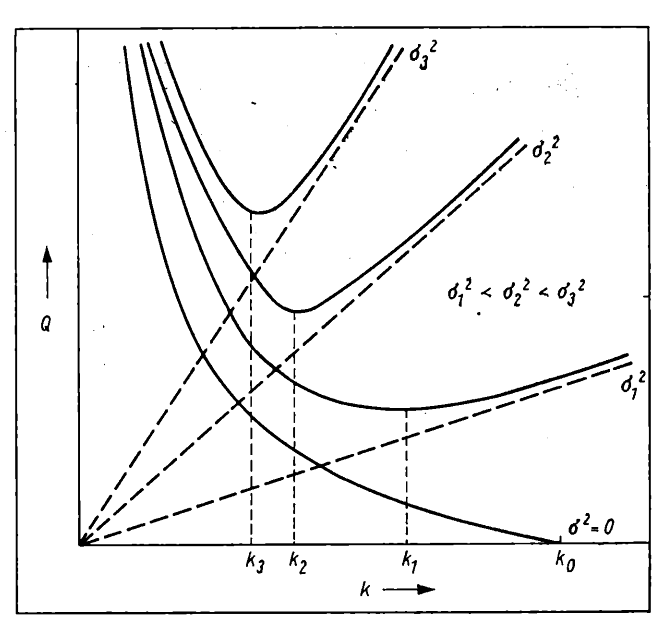


Bild. Einfluß des Rauschanteils auf die optimale Kompliziertheit des Modells

Absolut störstabil ist das Kriterium [22]

$$V^2 = \sum_{t \in N_A \cup N_B} (y_t^M(A \cup B) - y_t^M(A))\,(y_t^M(B) - y_t^M(A \cup B)) .$$

Neben diesen wichtigen Kriterien gibt es in der Literatur zur Selbstorganisation noch eine große Anzahl weiterer Kriterien, auf die hier jedoch nicht eingegangen werden soll. Für alle Auswahlkriterien, die in der Selbstorganisation Anwendung finden, ist kennzeichnend, daß sie äußere Kriterien darstellen, d. h., sie haben ein Minimum in Abhängigkeit von der Kompliziertheit des Modells. Aus der Analyse dieser Kriterien folgt, daß sich dieses Minimum aus einem Kompromiß ergibt, „der sich zwischen der Verringerung des Fehlers bei der Anpassung an die unverrauschten, d. h. genauen Daten und der Vergrößerung des Fehlers bei vorhandenem Rauschen in den Beobachtungen ergibt" [22]. Da sich dabei für die Interpretation des Modells optimaler Kompliziertheit interessante Aussagen ergeben, sei abschließend darauf etwas näher eingegangen.

3. Eigenschaften der Auswahlkriterien

Der Anwender ist entsprechend den Darlegungen im Abschnitt 2. mit einer Vielzahl von Auswahlkriterien konfrontiert und muß nun entsprechend seinem inhaltlichen Anliegen und den von ihm verbal formulierten Anforderungen an ein Modell optimaler Kompliziertheit sein Kriterium oder seine Hierarchie von Kriterien erstellen. Dabei helfen ihm bislang die in der Literatur gegebenen Vergleiche der Kriterien nur relativ wenig, da sie unvollständig und widersprüchlich sind. Darüber hinaus ist offensichtlich, daß für jede Menge von Funktionen $\boldsymbol{F}$ ein „bestes" Auswahlkriterium und eine „beste" Aufteilung der Beobachtungen existieren [27]. Erste Ergebnisse im Rahmen der Vorhersage des Elektroenergieverbrauchs in Kühlhäusern des VE Fischhandels sind in [23] dargestellt.

Bezüglich der Störempfindlichkeit der Kriterien wurden in [22] umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll. Vielmehr soll hier auf eine Eigenschaft aller in der Selbstorganisation angewendeten quadratischen Auswahlkriterien verwiesen werden, die durch analytische und empirische Untersuchungen gleichviel hinreichend bewiesen ist.

Der Erwartungswert aller Auswahlkriterien für beliebige Realisierungen und vorgegebenes Rauschniveau ergibt sich aus 2 Bestandteilen: der erste wird von der Genauigkeit der Modellanpassung bestimmt und der zweite von der Höhe des Rauscheinflusses. Stellt man beide Anteile in Abhängigkeit von der Kompliziertheit k des Modells grafisch dar, so ergibt sich, daß der erste Anteil mit wachsender Kompliziertheit fällt und für $p > p_0$ (p_0 wahre Kompliziertheit) Null wird, während der zweite monoton wächst (siehe Bild). Der zweite Bestandteil wächst proportional zur Varianz des Rauschens σ^2.

Aus dem letzten folgt unmittelbar eine wichtige Eigenschaft aller Auswahlkriterien, die in der Selbstorganisation zur Auswahl eines Modells optimaler Kompliziertheit Anwendung finden: Sind die Beobachtungen unverrauscht ($\sigma^2 = 0$), d. h. genau, so ist das Auswahlkriterium für das wahre Modell identisch Null. Bei vorhandenem Rauschen haben diese Kriterien ein eindeutiges Minimum, das ein Modell optimaler Kompliziertheit k_0 ergibt. Mit wachsendem Rauscheinfluß σ_1^2 verringert sich die optimale Kompliziertheit k_1 des Modells, d. h., die Modelle werden einfacher (s. Bild).

Das stimmt mit der Erkenntnis überein, daß im Interesse der Robustheit gegenüber den Modellannahmen das Modell so fein, wie es die Problemlösung erfordert, zu gestalten ist [28] bzw. daß für große Rauschanteile nichtphysikalische Modelle (d. h. Modelle optimaler Kompliziertheit) effektiver (genauer) und störstabiler sind als physikalische, d. h. dem wahren Modell entsprechende. Entsprechend dem 2. Shannonschen Theorem, das die Grenzdurchlaßfähigkeit des Nachrichtenkanals bei gegebenem Rauschniveau begrenzt, kann man formulieren: „Mit steigendem Rauschniveau kann man die Genauigkeit des Modells in bestimmten Grenzen nur dadurch erhalten, daß man seine Kompliziertheit verringert" [22].

In gewisser Weise wird diese Erkenntnis auch in der mathematischen Statistik vertreten, wenn man betont, „daß bei einer beschränkten Anzahl von Realisierungen ein Kompromiß zwischen der Allgemeingültigkeit des Modells und der Genauigkeit der Schätzung anzustreben ist" [20]. Die Anzahl der Einflußgrößen wird um diejenigen reduziert, deren Beitrag in Höhe des Rauschniveaus liegt.

Offensichtlich ist diese Eigenschaft der sinkenden optimalen Kompliziertheit bei steigendem Rauscheinfluß im Sinne der Grobheit oder Robustheit für die Vorhersagen förderlich. Wie sie sich auf die Aufgabe der Steuerung auswirkt, bleibt den weiteren Untersuchungen überlassen.

Literatur

[1] *Kalman, R. E.*: Identifikation von Systemen mit Rauschen. Uspechi matematičeskich nauk 40 (1985) 4, S. 27–41.
[2] *Ivachnenko, A. G.; Müller, J.-A.*: Selbstorganisation von Vorhersagemodellen. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
[3] *Zypkin, Ja. S.*: Grundlagen der informationellen Theorie der Identifikation. Berlin: VEB Verlag Technik (erscheint 1987).
[4] Modellierungs-Software. Konzeption und Anwendung. Berlin/New York: Verlag Walter de Gruyter 1981.
[5] *Shannon, R.*: Simulation von Systemen – Kunst oder Wissenschaft. Moskau: Mir 1986.
[6] *Kelcharju, R.*: General Frame of Ressources, Structure and Trade. Off. DYNAMICA, vol. 6, part. 1, 1980.
[7] Probleme der makroökonomischen Modellierung. Allunionskonferenz, Odessa 1984.
[8] *Vapnik, V. N.*: Wiederherstellung von Abhängigkeiten aus empirischen Daten. Moskau: Nauka 1979.
[9] *Müller, J.—A.*: Rechnergestützte Modellierung komplizierter Systeme. Wiss. Zeitschr. der HfÖ Berlin (1986) 4.
[10] *Akaike, H.*: Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proc. 2 Int. Symposium Information Theory, Supp. to Problems of Control and Information Theory, 1972, S. 267 –281.
[11] *Matthes, B.; Müller, J.-A.*: Extrapolation stochastischer Prozesse. msr, Berlin 21 (1978) 2, S. 139–143.
[12] *Akaide, H.*: Statistical Predictor Identification. Ann. Inst. Stat. Math. 22 (1970), S. 203–217.
[13] *Barron, A. R.*: Relected squared error: A criterion for Automatic model selection. In: Self-organizing methods in modeling. New York/Basel: Marcel Dekker 1984.
[14] *Mallows, C. L.*: Some comments on C_p. Technometrics 15 (1973) S. 661 to 675.
[15] *Karnazes, P. A.*: Identification of a nonlinear polynomial model for an air-to air missile using GMDH Algorithm. American Conference on Problems of Control, Arlington 1982.
[16] *Mehra, R. K.*: Group method of data handling (GMDH): review and experience, Conference on Decision and Control. New Orleans 1979.
[17] *Schwarz, G.*: Estimating the dimension of a model. Ann. Stat. 6 (1977) 2, S. 461–464.
[18] *Rissanen, J.*: A Universal Priori for Integers and Estimation by Minimum Description Length. Ann. Sat. 11 (2) (1983) S. 416–431.
[19] *Kočerka, Ju. L.*: Theoretisches Kriterium der Vorhersageeffektivität. avtomatika (1986) 4, S. 18–22.
[20] *Ajvazjan, S. A.; Enjukov, I. S.; Mešal'kin, L. D.*: Angewandte Statistik. Moskau: Finansy i statistika 1985.
[21] *Lebow, W. M.; Mehra, R. K.; Zoldalagi, P. N.*: Forecasting applications of GMDH in Agricultural and meteorological time series. In: Self-organizing methods in modeling. New York/Basel: Marcel Dekker Inc. 1984.
[22] *Ivachnenko, A. G.; Stepaško, V. S.*: Störstabilität der Modellierung. Kiew: Naukova dumka 1985.
[23] *Götze, W.; Müller, J.-A.*: Analyse und Vorhersage des Elektroenergieverbrauchs in Kühlhäusern des VE Fischhandel Berlin. Erscheint in msr, Berlin 30 (1987) 8, S. 373–375.
[24] *Ivachnenko, A. G.; Krizkij, A. P.*: Wiederherstellung eines Signals (oder physikalischen Modells) mit Hilfe der Extrapolation des geometrischen Ortes der Minima der Unverzerrtheitskriterien. avtomatika (1986) 3, S. 27–34.
[25] *Rastrigin, L. A.; Markov, V. A.*: Kybernetische Erkenntnismodelle. Fragen der Methodologie. Riga: Zinatne 1976.
[26] *Müller, J.-A., Matthes, B.*: Extrapolation von Zeitreihen mit Hilfe dynamischer Modelle. avtomatika (1982) 4, S. 36–48.
[27] *Stepaško, V. S.; Juračkovskij, Ju. P.*: Gegenwärtiger Stand der Theorie der Methode der gruppenweisen Berücksichtigung des Arguments. avtomatika (1986) 4, S. 36–43.
[28] *Bunke, H.*: Über die Bildung mathematischer Modelle und deren deduktive Überprüfung. Deutsche Zeitschrift für Philosophie (1986) 2, S. 135–142.
[29] *Ivachnenko, A. G.; Juračkovskij, Ju. P.*: Modellierung komplizierter Systeme mit Hilfe experimenteller Daten. Moskau: Radio i svjaz' 1987.

msr 8678

K. Gola

Probleme der Signalfensterung bei der schnellen Fourier-Transformation[1)]

0. Einleitung

Der von *Cooley* und *Tukey* [1] entwickelte Algorithmus zur schnellen Fourier-Transformation (FFT) als spezieller Form der diskreten Fourier-Transformation (DFT) fand in der Meßtechnik zur Spektralanalyse von Signalen erst besondere Beachtung, als Mikrorechner in die Meßeinrichtungen integriert werden konnten. Über entsprechende Sensoren und schnelle AD-Wandler wird eingangsseitig die direkte Prozeßkopplung ermöglicht, während über den Bildschirm des Rechners sowohl der Signalverlauf als auch das Ergebnis der spektralen oder anders gearteten Signalanalyse angezeigt werden können.

Die digitale numerische Behandlung der Signalanalyse erfordert die Quantisierung im Zeitbereich. Die gegebene Zeitfunktion $g(t)$ wird dazu im endlichen Beobachtungsintervall T_0 N-mal zu den äquidistanten Zeitpunkten

$$t_n = n\frac{T_0}{N}, \qquad n = -\frac{N}{2}, \quad -\frac{N}{2}+1, \dots, +\frac{N}{2}, \tag{1}$$

abgetastet. Weiterverarbeitet werden die N Funktionswerte

$$g_n = g(t_n)\,.$$

Durch das endliche Beobachtungsintervall T_0 ergibt sich im Frequenzbereich ebenfalls eine Quantisierung mit der Grundfrequenz

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0} \tag{2}$$

und den diskreten Frequenzen

$$\omega_k = k\omega_0\,, \qquad k = -\frac{K}{2}; -\frac{K}{2}+1, \dots, +\frac{K}{2}. \tag{3}$$

Als Näherung für das für ein unendliches Intervall definierte Fourier-Integral bzw. dessen Umkehrung ergeben sich endliche Reihen.

Der Ausdruck für die diskrete Fourier-Transformation (DFT) lautet

$$G_k = \frac{1}{N}\sum_{n=-N/2}^{(N/2)-1} g_n\, e^{-j2\pi\frac{kn}{N}} \tag{4}$$

Prof. Dr.-Ing. *Klaus Gola* (51) durchlief von 1953 bis 1955 eine Ausbildung als Fernmeldemonteur und studierte von 1957 bis 1962 an der TH Ilmenau Theoretische Elektrotechnik. Anschließend wissenschaftlicher Assistent am dortigen Institut für Theoretische Elektrotechnik und wissenschaftlicher Sekretär des Rektors. Danach Tätigkeit in der Meßgeräteentwicklungsstelle des VEB Funkwerk Erfurt. 1969 Promotion A auf dem Gebiet der Kennliniensynthese. 1970 Berufung zum Hochschuldozenten für digitale Schaltungstechnik an die TH Ilmenau. 1974 Berufung zum ordentlichen Professor für Elektrotechnik an die IH Zwickau. Seit 1979 dort Direktor der Sektion Elektroautomatisierungstechnik.

[1)] Leicht gekürzte Fassung eines Vortrags zur 4. Fachtagung „Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik", 11. und 12. September 1986 an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg.

Für ihre Umkehrung, die inverse diskrete Fourier-Transformation (IDFT), ergibt sich

$$g_n = \sum_{k=-K/2}^{(K/2)-1} G_k \, e^{+j2\pi \frac{kn}{N}} \tag{5}$$

Der FFT-Algorithmus ist nichts anderes als eine besondere Art der Abarbeitung dieser Gleichungen; unter anderem ist die Anzahl der Quantisierungsschritte im Zeitbereich und im Frequenzbereich gleich groß und immer eine Zweierpotenz, $K = N = 2^M$. Dieser Algorithmus soll an dieser Stelle als bekannt vorausgesetzt werden.

Durch die Diskretisierung und die Beschränkung auf ein endliches Beobachtungsintervall werden die Ergebnisse der Spektralanalyse verfälscht. Speziell der letztgenannte Einfluß kann Spektralkomponenten vortäuschen, die im zu messenden Signal nicht vorhanden sind. Durch geeignete „Fensterung" des Signals kann ihr Einfluß verringert oder u. U. beseitigt werden. Im Beitrag werden einige Aspekte dieser Fensterung behandelt. Weitere verfälschende Einflüsse, wie Umsetzungsfehler des AD-Umsetzers (Linearitäts-, Auflösungsfehler, Quantisierungsrauschen), werden nicht berücksichtigt.

1. Einfluß einer endlichen Beobachtungsdauer

Ausgehend von der exakten Integraltransformation werde angenommen, daß das Meßgerät zum Zeitpunkt $t = -\frac{1}{2} T_0$ an den zu analysierenden Prozeß angeschaltet und zum Zeitpunkt $t = +\frac{1}{2} T_0$ wieder vom Prozeß getrennt wird. Unabhängig vom tatsächlichen Gesamtverlauf des Eingangssignals $g(t)$ wird lediglich ein Ausschnitt der Länge T_0 aus $g(t)$ gewonnen und weiterverarbeitet. Hierfür hat sich der Sprachgebrauch eingebürgert, daß über das Signal ein „Rechteckfenster" (flat window) gelegt wird [3] und [4], bzw. man spricht allgemein von „Fensterung" (windowing). Bezüglich der numerischen Weiterverarbeitung einer auf diese Weise abgetasteten und digitalisierten Zeitfunktion wirkt sich das so aus, als ob, ausgehend vom realen Beobachtungsintervall, sich die Funktion nach rechts und nach links für $t \to +\infty$ und $t \to -\infty$ mit dem gleichen Funktionsverlauf über die Intervallänge T_0 periodisch fortsetzt, so wie im Bild 1 dargestellt. Damit werden in das Ergebnis einer Spektralanalyse zwangsläufig Frequenzanteile hineingebracht, die in der Originalfunktion nicht vorhanden sind. Diese Erscheinung wird als „Abbrucheffekt" bezeichnet [3]. Der Abbrucheffekt soll am Beispiel einer monofrequenten Schwingung $g(t) = \hat{a} \cdot \sin(\omega_s t + \varphi)$ mit beliebiger Lage des Rechteckfensters untersucht werden, d. h., die Beobachtungsdauer T_0 soll im allgemeinen nicht kohärent zur Periodendauer $T_s = 2\pi/\omega_s$ sein, also nicht gleich dieser oder einem ganzzahligen Vielfachen derselben, und der Nullphasenwinkel φ der Schwingung sei beliebig. Für die komplexe Form der Fourier-Reihe

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} c_k \, e^{+jk\omega_0 t} \tag{6}$$

mit

$$c_k = \frac{1}{T_0} \int_{-(1/2)T_0}^{(1/2)T_0} g(t) \, e^{-jk\omega_0 t} \, dt \tag{7}$$

erhält man bei dieser Aufgabenstellung die komplexen Fourier-Koeffizienten

$$c_k = \frac{\hat{a}}{2} \left\{ \frac{\sin(k\omega_0 - \omega_s)\frac{T_0}{2}}{(k\omega_0 - \omega_s)\frac{T_0}{2}} \cdot e^{+j\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)} + \frac{\sin(k\omega_0 + \omega_s)\frac{T_0}{2}}{(k\omega_0 + \omega_s)\frac{T_0}{2}} \cdot e^{-j\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)} \right\}. \tag{8}$$

Obwohl in der physikalischen Realität nur positive Zeiten und Frequenzen existieren, ist aufgrund der verwendeten komplexen Transformation der ganzzahlige Zählindex k von $-\infty$ bis $+\infty$ zu variieren.

Offensichtlich entstehen infolge des Abbruchs unendlich viele Spektrallinien an den Stellen

$$\omega_{sp} = k\omega_0 \pm \omega_s , \qquad -\infty \leqq k \leqq +\infty , \tag{9}$$

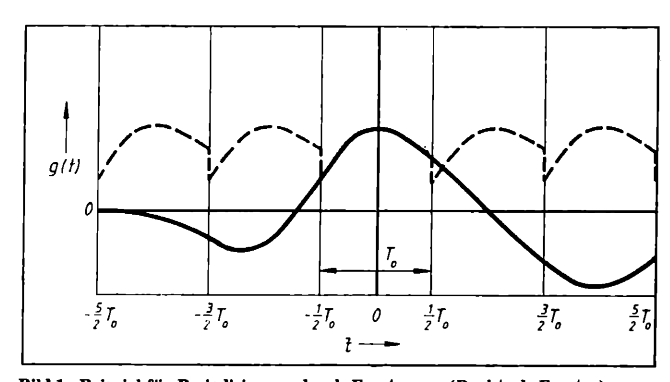


Bild 1. Beispiel für Periodisierung durch Fensterung (Rechteck-Fenster)
——— tatsächlicher Funktionsverlauf; — — — Funktionsausschnitt im Beobachtungszeitraum und periodische Fortsetzung

als Überlagerung diskreter Realisierungen zweier komplexer Spaltfunktionen. Für betragsmäßig gleiche Werte von k, aber mit unterschiedlichen Vorzeichen, sind die Fourier-Koeffizienten c_k konjugiert komplex, so daß bei technischen Realisierungen nur der halbe Bereich des Ergebnisses für $k \geqq 0$ ausgegeben werden muß, da dieser bereits den vollen Informationsgehalt hat.

Wie aus (8) ersichtlich ist, wird eine reine Sinusschwingung ($\varphi = 0$) durch ein imaginäres Spektrum, eine reine Kosinusschwingung ($\varphi = \pi/2$) durch ein reelles Spektrum repräsentiert. Für letzteres zeigt sich, daß dann, wenn bei einer solchen Messung zufällig der Abbruch nach eineinhalb Perioden erfolgen sollte, d. h. $T_0 = \frac{3}{2} T_s$, der ungünstigste Fall vorliegt. Unter anderem entsteht eine im tatsächlichen Schwingungsverlauf überhaupt nicht vorhandene starke Gleichkomponente

$$c_0 = 0{,}2122 \cdot \hat{a} .$$

Falls zwischen Beobachtungsdauer und Signalperiode Kohärenz besteht, so daß $T_0 = m \cdot T_s$, $m \geqq 1$ und ganzzahlig, nehmen die Argumente der Spaltfunktionen in (8) die Form

$$(k\omega_0 \pm \omega_s) \frac{T_0}{2} = (k \pm m)\pi$$

an, weswegen bis auf die beiden Fourier-Koeffizienten bei $k = \pm m$ alle anderen verschwinden

$$c_{+m} = \frac{\hat{a}}{2} e^{+j\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)}, \qquad c_{-m} = \frac{\hat{a}}{2} e^{-j\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right)} \tag{10}$$

2. Fensterungsoperationen

Die Situation in der Meßtechnik ist häufig so, daß eine ausreichende A-priori-Kenntnis über den Zeitverlauf der Meßgröße fehlt, oder, wenn diese Kenntnis existiert, meist nur in Ausnahmefällen die Herstellung der oben untersuchten Kohärenz möglich ist. Daher wird weltweit seit mehr als 25 Jahren versucht, durch Bewertungsoperationen während der Fourier-Analyse auch bei Nichtkohärenz Spektralkomponenten zu errechnen, die eine möglichst gute Approximation der tatsächlichen Verhältnisse darstellen. Diese Bewertung wird durch sogenannte Fensterfunktionen realisiert: die Meßfunktion $g(t)$ wird im Beobachtungsintervall mit einer speziell konstruierten geraden Funktion $w(t)$ multipliziert, und die auf diese Weise gewichtete Funktion

$$g_w(t) = g(t) \cdot w(t) , \qquad -\frac{T_0}{2} \leqq t \leqq +\frac{T_0}{2} , \tag{11}$$

wird der Fourier-Analyse unterzogen. Diese Multiplikation im Zeitbereich ist identisch mit einer Faltung der zugeordneten Spektralfunktionen $G(\omega)$ und $W(\omega)$ im Frequenzbereich [5].

Tatsächlich lassen sich hinsichtlich der Analysenergebnisse durch Fensterungsoperationen beachtliche Verbesserungen erzielen. Eine umfangreiche Übersicht hierzu wurde durch *Harris* erarbeitet [5]. Er vergleicht die gebräuchlichsten Fensterfunktionen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bezüglich einer guten Approximation des wirklich vorhandenen durch das berechnete Spektrum. Diese Analyse zeigt, daß das Dolph/Tschebyschew-Fenster die besten Ergebnisse bei der DFT von Schmalbandsignalen bringt, aber bei der Erkennung von Breitbandsignalen zu erheblichen Fehlern führt. Als insgesamt am leistungsfähig-

sten erweist sich das Kaiser/Bessel-Fenster, das als

$$\left.\begin{aligned} w(n) &= \frac{I_0\left\{\pi\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N}\right)^2}\right\}}{I_0\{\pi\alpha\}}, \\ n &= -\frac{N}{2}, \dots, +\frac{N}{2}-1, \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

mit der modifizierten Bessel-Funktion

$$I_0\{X\} = \sum_{k=0}^{\infty}\left[\frac{1}{k!}\left(\frac{1}{2}X\right)^k\right]^2 \quad (13)$$

definiert ist. Der Parameter α ist frei wählbar (günstig ist $\alpha \geqq 3$) und muß der Zeit-Bandbreite-Bedingung

$$2\pi\alpha = T_0 \cdot B \quad (14)$$

genügen.
Infolge seiner Einfachheit ist z. Z. das sogenannte Hanning-Fenster (eigentlich: Hann-Fenster)

$$w(n) = \cos^2\left(\pi\frac{n}{N}\right) = \frac{1}{2}\left[1+\cos\left(2\pi\frac{n}{N}\right)\right] \quad (15)$$

am weitesten verbreitet [5]. In ähnlicher Weise hat *Cox* [6] für ein Meßgerät der Fa. *Hewlett* & *Packard* das „flat top window" konstruiert:

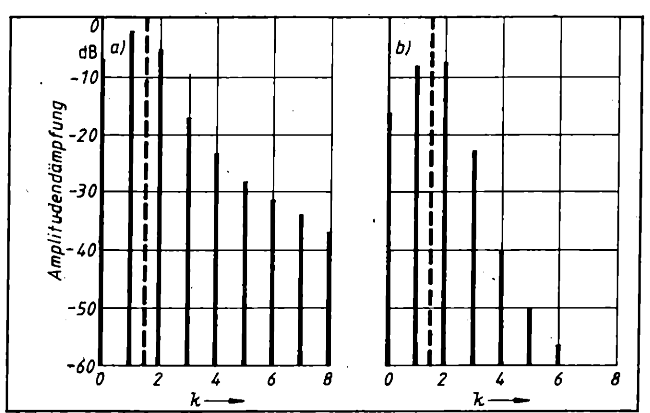
$$\left.\begin{aligned} w(n) &= A_0 + 2\cdot\sum_{k=1}^{4} A_k \cos\left(2\pi\frac{kn}{N}\right), \\ n &= -\frac{N}{2}, \dots, +\frac{N}{2}-1. \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

Allerdings sind die Werte für die Koeffizienten in [6] nicht angegeben. Als Vorteil dieser Fensterfunktion wird ein konstant kleiner Fehler über die gesamte Bandbreite genannt.
Einen völlig anderen Weg gehen *Rohling* und *Schürmann* [7], die keine analytische Fensterfunktion konstruieren, sondern für Analysen mit weniger als 50 Abtastwerten mit Hilfe eines energetisch begründeten speziellen Optimierungskriteriums, jedem einzelnen Abtastwert zugeordnet, numerisch den Bewertungsmultiplikator errechnen.
Im folgenden soll die in Abschn. 1. bereits verwendete monofrequente Schwingung nochmals als Beispiel aufgegriffen und unter Anwendung des Hann-Fensters analysiert werden. Zur Analyse wird wieder die Fourier-Reihe gemäß (6) mit den Koeffizienten nach (7) gebildet, aber anstelle von $g(t)$ jetzt von $g_w(t)$. Ohne auf Einzelheiten näher einzugehen, sei nur folgendes gesagt: auch in diesem Fall ist jeder Fourier-Koeffizient c_k eine Summe von komplexen Spaltfunktionen, jetzt aber über insgesamt 6 Terme mit den Argumenten

$$[(k-1)\,\omega_0 \pm \omega_s]\frac{T_0}{2}, \qquad [k\omega_0 \pm \omega_s]\frac{T_0}{2},$$
$$[(k+1)\,\omega_0 \pm \omega_s]\frac{T_0}{2}.$$

Bild 2. Spektrum der Kosinusfunktion $g(t) = \hat{a}\cdot\cos\omega_s t$ bei einer Beobachtungsdauer von $T_0 = (3/2)\,T_s$

a) Rechteckfenster; b) Hann-Fenster
Die dem tatsächlichen physikalischen Sachverhalt entsprechenden Spektrallinien sind als „virtuelle" Linien gestrichelt eingezeichnet



Damit entsteht im nichtkohärenten Fall ein unendliches Linienspektrum für alle k, $-\infty \leqq k \leqq +\infty$, k ganzzahlig, mit konjugiert komplexen Linien für betragsmäßig gleiche Werte von k unterschiedlichen Vorzeichens.
Von besonderem Interesse, auch wegen der Vergleichbarkeit, ist wieder der kohärente Fall, wenn $T_0 = m\ T_s$, $m \geqq 1$ und ganzzahlig, ist.
Das zuvor unendliche Linienspektrum reduziert sich jetzt auf sechs diskrete Linien

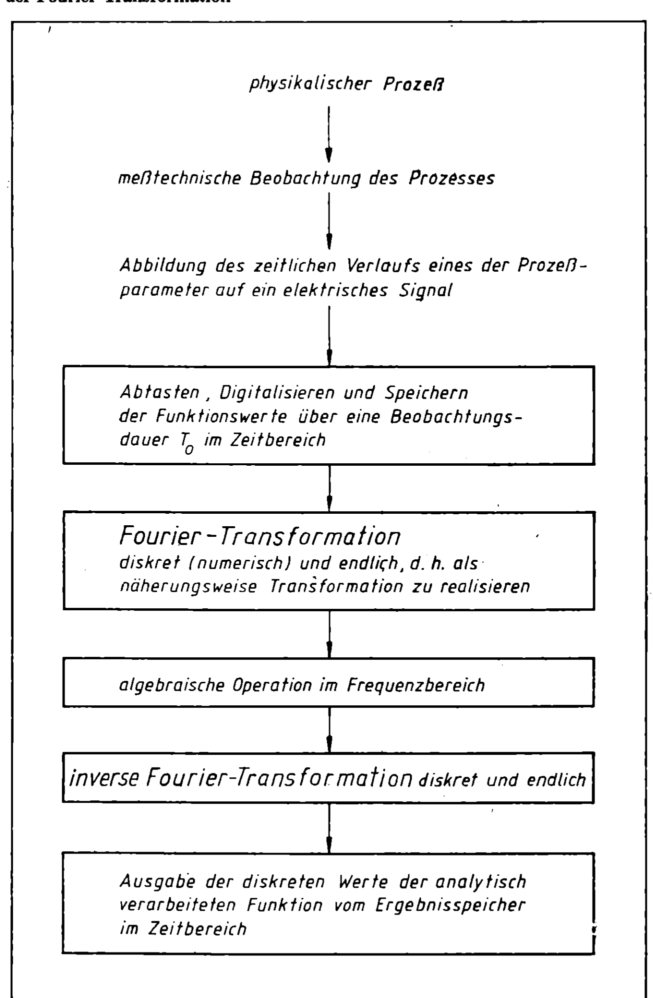
$$c_{wk} = \begin{cases} \frac{\hat{a}}{8}\,e^{-j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = -(m+1) \\ \frac{\hat{a}}{4}\,e^{-j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = -m \\ \frac{\hat{a}}{8}\,e^{-j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = -(m-1) \\ \frac{\hat{a}}{8}\,e^{+j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = +(m-1) \\ \frac{\hat{a}}{4}\,e^{+j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = +m \\ \frac{\hat{a}}{8}\,e^{+j\left(\varphi-\frac{\pi}{2}\right)} & \text{für } k = +(m+1), \end{cases} \quad (17)$$

deren konjugiert komplexe Symmetrie ganz deutlich ist. Für $m = 1$ fallen die beiden inneren Linien aufeinander und werden zu einer rein reellen Gleichkomponente

$$c_{w0} = \frac{\hat{a}}{4}\cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\hat{a}}{4}\sin\varphi.$$

Vergleicht man (17) mit dem Ergebnis der Rechteckfensterung (10), dann scheint zunächst der Wert des Hann-Fensters in

Bild 3. Verarbeitungsstufen zur Durchführung analytischer Operationen mit Hilfe der Fourier-Transformation



Frage gestellt. Die Originalspektrallinie bei $k = \pm m$ wird aufgefächert, das Spektrum wird gewissermaßen „verschmiert". Jedoch gerade diese Eigenschaft wirkt sich bei Nichtkohärenz positiv aus, weil dann die unerwünschten parasitären Nebenlinien, die infolge des Abbrucheffektes zusätzlich entstehen, stärker als die erwünschten Hauptlinien unterdrückt werden.

Am Beispiel des in Abschn. 1. erwähnten ungünstigsten Abbruchfalles sollen die Verhältnisse anhand von Bild 2 gezeigt werden. Das Abbruchspektrum ist für alle k von $-\infty$ bis $+\infty$ entstanden, und da $\omega_0 = 2\pi/T_0$ die Grundfrequenz bildet und im Ergebnis der Berechnung nur symmetrisch zu ω_0 die übrigen Linien bei $\omega_{sp} = \pm k\omega_0$ auftreten, kann die in Wirklichkeit bei $\omega_s = \frac{3}{2}\omega_0$ existierende Komponente nur als „virtuelle" Spektrallinie aufgefaßt werden, die durch die benachbarten Linien bei $\omega_{sp} = \omega_0$ und $\omega_{sp} = 2\omega_0$ mit repräsentiert wird.

3. Analytische Operationen und Fensterung

Eine wesentliche Eigenschaft der Integraltransformation, wie Laplace-Transformation und Fourier-Transformation, ist, daß analytische Operationen in einfache algebraische Operationen überführt werden. So gilt für die Fourier-Transformation der Differentiationssatz [8]

$$F\left\{\frac{dg(t)}{dt}\right\} = j\omega \cdot F\{g(t)\} \tag{18}$$

und bei periodischen Funktionen auch der Integrationssatz [8]

$$F\{\int g(t) \cdot dt\} = \frac{1}{j\omega} \cdot F\{g(t)\}\,. \tag{19}$$

Somit liegt es nahe, bei rechnergestützten Meßgeräten auch solche Verarbeitungsfunktionen einzubeziehen. Es müßten dann die Verarbeitungsstufen gemäß Bild 3 realisiert werden. In (18) und (19) ist ω eine in $-\infty \leqq \omega \leqq +\infty$ definierte kontinuierliche Variable.

Infolge der numerischen Verarbeitung werden jedoch nur diskrete Variable und Funktionsreihen behandelt. Für die Fourier-Reihe (6) folgt bei Differentiation im Zeitbereich

$$\frac{dg(t)}{dt} = \dot{g}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} jk\omega_0 c_k\, e^{jk\omega_0 t} \tag{20}$$

Der Vergleich von (20) mit (18) zeigt, daß an die Stelle der kontinuierlichen Variablen ω jetzt die diskrete Variable $k\omega_0$ getreten ist. Die algebraische Operation „Multiplizieren" ist, und das war aufgrund der Struktur von (18) nicht so ohne weiteres zu erwarten, auf jeden Einzelterm der Summe anzuwenden. In diesem Sinne kann

$$jk\omega_0 c_k = \dot{c}_k \tag{21}$$

gesetzt werden, und die Fourier-Reihe der 1. Ableitung lautet dann

$$\dot{g}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{c}_k\, e^{jk\omega_0 t}\,. \tag{22}$$

Nach entsprechender Diskretisierung im Zeit- und Frequenzbereich (vgl. Einleitung) ergibt sich die numerisch verarbeitbare Form

$$g'_n = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} G'_k \cdot e^{j2\pi\frac{kn}{N}} \qquad n = -\frac{N}{2}, \dots, +\frac{N}{2} - 1\,, \tag{23}$$

mit

$$G'_k = \frac{1}{\omega_0}\dot{G}_k = jkG_k\,, \qquad \dot{G}_k = jk\omega_0 G_k\,. \tag{24}$$

Es ist offensichtlich, daß bei derartigen Operationen die Anwendung von bewertenden Fensterfunktionen unzulässig ist. Außerdem läßt sich exakt nachweisen (an dieser Stelle sei nur das Ergebnis genannt), daß nur ohne Bewertung, d. h. unter Anwendung des Rechteckfensters, aus Fourier-Koeffizienten, die mittels einer DFT errechnet wurden, sich durch Anwendung der IDFT wieder die Folge der gegebenen Abtastwerte g_n der ursprünglichen Zeitfunktion $g(t)$ rekonstruieren läßt. Das im Bild 4 dargestellte einfache Beispiel zeigt das in guter Approximation für eine Kurvendifferentiation mittels DFT-IDFT. Da nur mit 16 Abtastwerten, also physikalisch real mit acht aus unendlich vielen Spektralkomponenten gearbeitet wurde, sind die Quantisierungsfehler relativ groß, und dementsprechend auch die Abweichungen zwischen realer Kurve und Abbildungskurve.

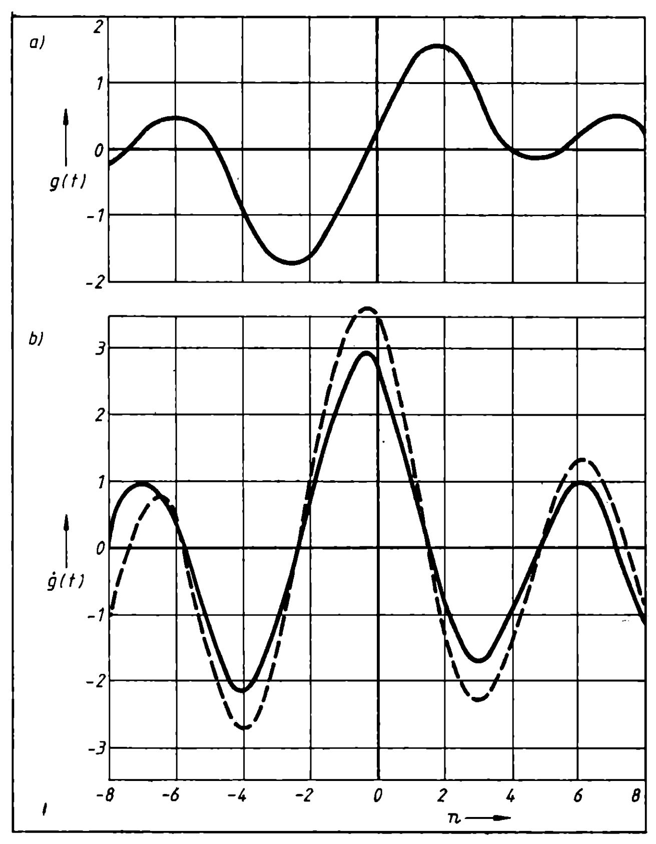


Bild 4. Beispiel für eine Differentiation mit Hilfe der Fourier-Transformation

Verarbeitungsparameter: Signalperiode $T_s = 13$ ms, Beobachtungsdauer $T_0 = 16$ ms, Abtastfrequenz $f_A = 1$ kHz, Anzahl der Abtastungen $N = 16$

a) Verlauf der Zeitfunktion $g(t)$; b) Verlauf der 1. Ableitung $\dot{g}(t)$

——— tatsächlicher Verlauf, — — — mit DFT/IDFT errechneter Verlauf

Zusammenfassung

Fensterungsoperationen führen bei der numerischen Spektralanalyse immer zu Verfälschungen des Spektrums, sind aber aufgrund der endlichen Beobachtungsdauer unvermeidbar. Im einfachsten Fall erfolgt die Fensterung als sogenanntes Rechteckfenster ohne Bewertung der abgetasteten Zeitfunktion. Dieses Fenster ist im Fall einer Kohärenz zwischen Fensterbreite T_0 und Periodendauer T_s des zu analysierenden Signals (falls dieses überhaupt periodisch ist) die beste Variante. Wenn es gelänge, einen Fourier-Analysator zu bauen, der im Fall des Vorhandenseins einer Periodizität diese richtig erkennt und die Beobachtungsdauer T_0 automatisch der Periodendauer des Signals nachführt, dann würden alle im Signal enthaltenen Spektralkomponenten amplituden- und phasenrichtig abgebildet.

Bei i. allg. gegebener Nichtkohärenz sind Bewertungsfenster günstig, z. B. Hanning-Fenster, Kaiser/Bessel-Fenster, Dolph/Tschebyschew/Fenster. Sie „verschmieren" zwar die Bereiche der real existierenden Frequenzkomponenten, unterdrücken aber die infolge des Abbrucheffekts entstehenden parasitären Anteile. Bei Anwendung der FFT für die Differentiation oder Integration der gegebenen Zeitfunktion $g(t)$ ist die Verwendung eines Bewertungsfensters unzulässig.

Literatur

[1] *Cooley, J. W.; Tukey, J. W.:* An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. Math. of Computation 19 (1965) 4, pp. 297–301.

[2] *Stopp:* Operatorenrechnung. MINÖL Band 10. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1984.

[3] *Kuo, F. J.; Kaiser, J. F.:* System Analysis by Digital Computer. New York: John Wiley & Sons Ltd. 1966.

[4] *Seyed Ali Azizi:* Meßtechnische Anwendung der FFT. Nachrichtentechnische Zeitschrift 34 (1981) 3, S. 152–158; 4, S. 234–237; 5, S. 306–310.

[5] *Harris, F. J.:* On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform. Proc. IEEE 66 (1978) 1, pp. 51–83.

[6] *Cox, R. G.:* Window Functions for Spectrum Analysis. Hewlett-Packard Journal (1978) September, pp. 10–11.

[7] *Rohling, H.; Schürmann, J.:* Diskrete Fensterfunktionen für die Kurzzeitspektralanalyse. AEÜ 34 (1980) 1, S. 7–15.

[8] *Myškis, A. D.:* Introductory Mathematics for Engineers — Lectures in Higher Mathematics. Moscow: Mir Publishers 1972.

msr 8603

K. Kabitzsch

Mikrorechner PCC 5/21 zur Prozeßführung eines Netzbanddurchlaufbackofens

0. Einleitung

Der im Kombinat NAGEMA entwickelte Netzbanddurchlaufbackofen BN 5/21 ist das Grundmodell für eine neue Baureihe. Diese neue Generation von Netzbanddurchlaufbacköfen zeichnet sich besonders durch sparsamen Verbrauch von Energieträgern aus; er wird im Vergleich zum bisherigen Typ BN 50 um mindestens 30% gesenkt. Mit den Abmessungen 26,54 × 3,35 × × 2,95 m³, einer Backfläche von 50 m² und einem Durchsatz von 1000 kg/h Roggen-, Roggenmisch- und Weizenbrot sind die nach dem kontinuierlichen Durchlaufprinzip arbeitenden Öfen ausschließlich für den Einsatz in Großbäckereien bestimmt [4]. Das nachfolgend beschriebene System PCC 5/21 ist Bestandteil der MSR-Ausrüstung des Ofens und besteht aus zwei Mikrorechnern, von denen einer für die zentrale Erfassung und Anzeige wichtiger Prozeßdaten, der zweite in erster Linie als eigenständiger Mehrkanal-Mikrorechnerregler konzipiert ist. Die Gerätehardware ist am System K 1520 orientiert. Als Steckeinheiten werden neben der Zentralen Recheneinheit ZRE K 2521 und dem Operativ-Festwertspeicher OFS K 3620 buskompatible Prozeßperipheriekomponenten eines Baugruppensystems eingesetzt, das im Kombinat Fortschritt Landmaschinen zur Erzeugnisautomatisierung entwickelt wurde (Tafel 1). Das Zweiprozessorsystem (Bild 1) ist gemeinsam mit weiterer MSR-Technik konstruktiv in einem zentralen Schaltschrank untergebracht. Die Industrieerprobung der Steuerung läuft seit Anfang 1985 planmäßig in Verbindung mit dem neuen Backofen.

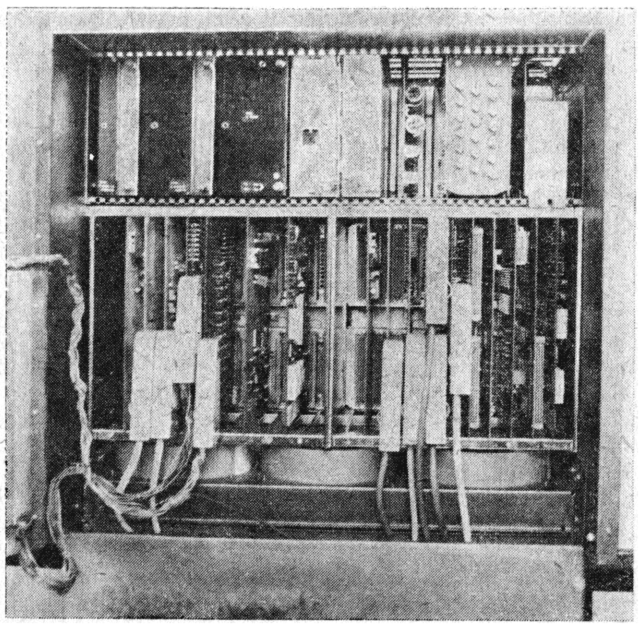


Bild 1. Steuerung PCC 5/21 zum Einbau in einen Schaltschrank

Tafel 1. Eingesetzte Komponenten aus dem 170 × 215 mm²-FORTSCHRITT-Baugruppensystem

Anzeigensteuerung	Multiplextreiber für 7-Segment-Anzeigen
Leuchtbandansteuerung	Multiplextreiber für (32 × 8)-LED-Matrix
Thermoelementeverstärker	Relaismultiplexer und Verstärker (8 Eingänge)
Widerstandsthermometerverstärker	Relaismultiplexer und Verstärker (8 Eingänge)
AD-Wandlerbaugruppe	2 C 520 mit Zusatzelektronik
Digitaleingabe/-ausgabe	wahlweise 32 Eingänge oder Ausgänge, optoentkoppelt
Relaisausgabe	16 Relais

1. Rechner zur Informationserfassung und -anzeige

1.1. *Temperaturen*

Bild 2 zeigt das vereinfachte Schema des Backofens BN 5/21 und die steuerungstechnisch relevanten Meß- und Stellglieder. Alle nur zum Zweck der Anzeige gemessenen Größen sind wegen der besseren Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Zur Messung der Rauchgastemperaturen sowie des Temperaturprofils im Ofeninnenraum (bis maximal 650 °C) wurden Thermoelemente (NiCr-Ni) eingesetzt, wobei als Grundschaltung der Thermokreis mit aufgetrennter Vergleichsstelle [3] zur Anwendung kam. Für die übrigen Temperaturen (bis maximal 350 °C) lassen sich vorteilhaft Widerstandsthermometer Pt 100 verwenden. Zur Erfassung sämtlicher Temperaturwerte wurde nur ein AD-Umsetzer vom Typ C 520 in Verbindung mit Relaismultiplexern verwendet. Eine extrem kurze Abtastzeit ist in Anbetracht der geringen Dynamik der zu messenden Temperaturverläufe einerseits nicht notwendig und andererseits im Hinblick auf die zulässige Lastwechselzahl der Multiplexerrelais auch nicht wünschenswert. Eine Ausnahme bilden die an der Frontplatte nicht ständig verfügbaren, sondern über ein gemeinsames Display wahlweise anzeigbaren Temperaturen. Da nach der über die Taste im Tippbetrieb erfolgten Meßwertvorwahl der gewählte Wert auf dem Display in einer ergonomisch vertretbaren Zeit erscheinen muß, war hier eine Sonderlösung erforderlich.

Von den möglichen Verfahren zur softwaregestützten Kennlinienlinearisierung legt jedes den Kompromiß zwischen Speicherplatz und Rechenzeit anders fest. Im vorliegenden Fall wurde das schnelle aber speicherplatzintensivere Tabellenverfahren gewählt, weil damit gleichzeitig die in der Leuchtbandanzeige vorgesehene Dekadenanzeige realisiert werden konnte. Für das Tabellenraster von 2,5 Grad wird im Temperaturbereich von 0 °C bis 650 °C ein Speicherbereich von 260 byte belegt.

1.2. *Backdauer*

Die Durchlaufzeiten der verschiedenen Gebäcksorten, die im Bereich von 10 bis 120 min liegen, sind von Hand in weiten Grenzen einstellbar und werden durch ein Programm aus der Geschwindigkeit des Transportbandes berechnet. Zu diesem Zweck ist eine Bestimmung der Drehzahl des Antriebsmotors aus der jeweiligen Umrichterfrequenz vorgesehen. Die frequenzanaloge Signaldarstellung erlaubt eine relativ störfreie Übertragung der Meßwerte zum Mikrorechner. Da die Meßwerterfassung prinzipiell eine Zählung darstellt, läßt sich hierzu vorteilhaft ein Zähler-Zeitgeber-Schaltkreis (CTC) U 857 einsetzen, dessen Kanäle kaskadiert sind. Als Referenzgröße dient der quarzstabilisierte Systemtakt. Da der CTC direkt mit dem Bus verbunden wird, ist zur Signalaufbereitung nur noch die mit einer Impulsformung verbundene Pegelwandlung erforderlich.

1.3. *Bedien- und Anzeigeteil*

Für die Gestaltung des zentralen Bedien- und Anzeigefeldes müssen neben dem Anspruch auf möglichst umfassende Information des Anlagenpersonals auch dessen Möglichkeiten beachtet werden, die angebotene Informationsfülle zu überblicken und daraus zweckmäßige Bedienentscheidungen abzuleiten. Aus ergonomischer Sicht ist daher die Reduzierung des Bedien- und Anzeigeaufwandes auf das unbedingt notwendige Maß wünschenswert. Konstruktiv wurde dieses Anliegen durch die nachfolgend beschriebenen Lösungen unterstützt.

Es erfolgt eine strenge Unterscheidung zwischen den Hauptparametern des Prozesses, die dem Anlagenpersonal ständig angezeigt werden müssen und solchen Daten, die vom Standpunkt der Prozeßführung lediglich Informationscharakter tragen. Für letztere ist nur eine einzige 3stellige 7-Segment-Anzeige vorge-

Dr.-Ing. *Klaus Kabitzsch* (33) studierte von 1972 bis 1976 Informationstechnik, Fachrichtung Höchstfrequenztechnik, an der TH Ilmenau. Danach dort wissenschaftlicher Assistent. Seit 1981 Mitarbeiter für Forschung/Entwicklung im Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig des Kombinat Fortschritt Landmaschinen (Stammbetrieb). Dort Beschäftigung mit Problemen der Meßwerterfassung, Steuerung und Regelung auf der Basis von Mikroprozeßrechnern, Softwareentwicklung. 1982 Promotion A.

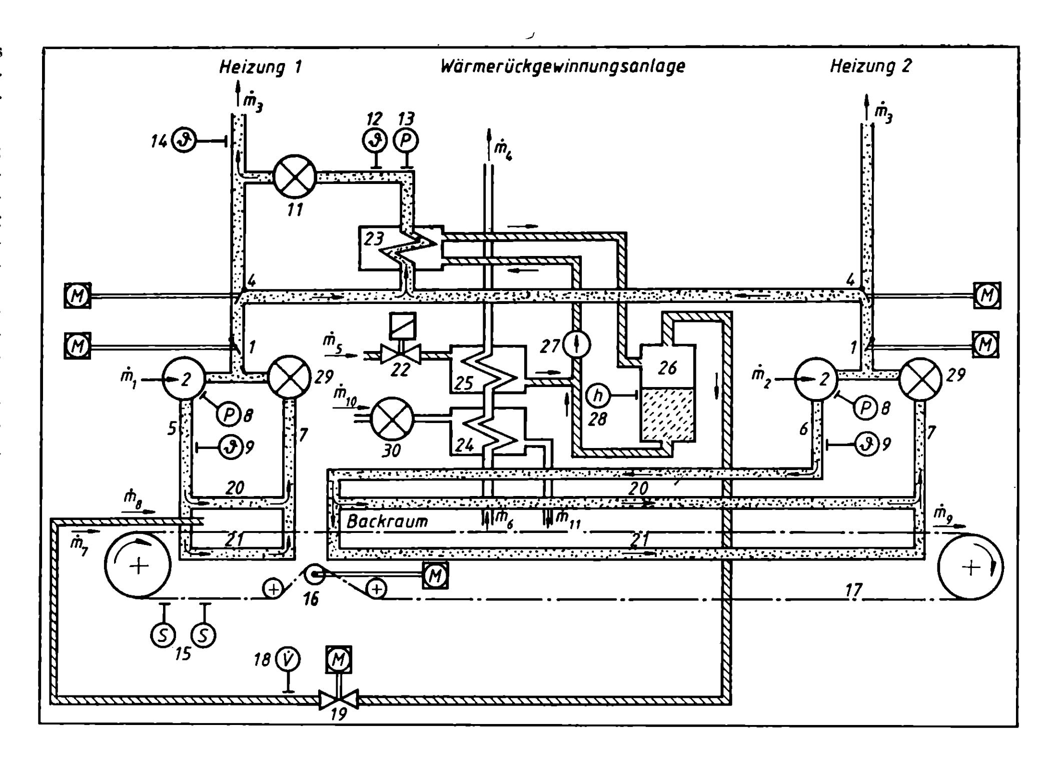


Bild 2. Vereinfachtes Schema des BN 5/21 mit Wärmerückgewinnungsanlage und steuerungstechnisch relevanten Meß- und Stellorten

1 Abgasklappe; 2 Gebläsegasbrenner; 4 Umschaltklappe (Richtungssteuerung der Abgasweiche); 5 Vorlauf Heizung Backzone 1; 6 Vorlauf Heizung Backzone 2, 3, 4; 7 Rücklauf; 8 Manometer für Unterdruck; 9 Thermoelemente für Übertemperatursicherung; 11 Abgasabsaugventilator; 12 Übertemperaturüberwachung; 13 Überwachung für Absaugventilator; 14 Abgastemperatur; 15 Initiatoren Netzbandlauf; 16 Verstellwalze Netzbandlauf; 17 Netzband; 18 Durchflußmessung Beschwadung; 19 Stellventil Beschwadung; 20 Oberhitze; 21 Unterhitze; 22 Magnetventil; 23 Wärmeübertrager, Wärmerückgewinnung; 24 Wärmeübertrager; 25 Wärmeübertrager; 26 Sammelbehälter; 27 Heißwasserpumpe; 28 Füllstandsmessung; 29 Umwälzventilator; 30 Frischluftventilator; $\dot{m}_1$; $\dot{m}_2$ Gaszufuhr; $\dot{m}_3$, $\dot{m}_4$ Abgas zum Schornstein; $\dot{m}_5$ Frischwasser; $\dot{m}_6$ Backraumatmosphäre (Wrasen); $\dot{m}_7$ Dampf für Beschwadung; $\dot{m}_8$ Wirklinge; $\dot{m}_9$ Brote; $\dot{m}_{10}$ Frischluft; $\dot{m}_{11}$ erwärmte Frischluft

sehen, auf der wahlweise alle Größen dargestellt werden können. Die Meßstellenanwahl erfolgt unter Umgehung einer Tastatur durch eine einzige Taste, mit deren Hilfe alle Meßstellen im sogenannten „Tippbetrieb" [1] der Reihe nach abgerufen werden können. An einer LED-Zeile ist erkennbar, welche Meßstelle jeweils angezeigt wird.

Eine für das Anlagenpersonal sehr übersichtliche Darstellung wurde durch die Balkendarstellung in Form von Leuchtbandzeilen erreicht. Auf diese Weise wurden die Temperaturen der Rauchgase und des Ofeninnenraumes gestalterisch einheitlich als Profildarstellung zusammengefaßt, die auch aus technologischer Sicht eine geschlossene Einheit bilden.

2. Aufgaben des Regel- und Steuerrechners

2.1. *Regelung der Beschwadungsmenge*

Die Wirklinge (Backgut) sind am Ofeneingang mit Wasserdampf zu behandeln (Beschwadung), um eine TGL-gerechte Krustenbildung zu sichern. Die einzusetzende Dampfmenge (in kg/h) ist je nach Gebäckart technologisch vorgegeben und muß auf dem durch einen Stufenschalter einstellbaren Wert konstant gehalten werden. Zur Durchflußregelung dient ein Stellventil in der Dampfspeiseleitung, wobei der Durchfluß nach dem Wirkdruckverfahren gemessen wird. Als Störgröße wird der Dampfdruck der Speiseleitung vorwiegend durch das Zu- und Abschalten weiterer Verbraucher an das betriebliche Dampfversorgungsnetz beeinflußt.

2.2. *Unterdruckregelung an beiden Brennern*

Die Abgase der beiden Brenner werden aus ihren Rezirkulationskreisen durch Gebläse zum Schornstein befördert, was mit einem gewissen Unterdruck im Abgasumwälzsystem einhergeht. Für diesen Unterdruck ist ein technologisch begründeter Optimalwert vorgegeben, wobei Abweichungen folgende Konsequenzen haben:

- Unterdruck zu groß: Abgassystem zieht Falschluft (Wirkungsgrad)
- Unterdruck zu gering: Abgastransport nicht gesichert.

Neben dem Wärmerückgewinnungssystem sowie den äußeren Zugverhältnissen wirkt als Hauptstörgröße die vom jeweiligen Brenner erzeugte Abgasmenge, die von der jeweils vom Brenner geforderten Heizleistung abhängig ist. Zur Festwertregelung des im Abgassystem gemessenen Unterdrucks wird eine Drosselklappe in den Abgasstrom eingefügt.

2.3. *Übertemperatur-Notabschaltung*

Zur Vermeidung von Havarien und Schäden an der Ofenanlage wird die Rauchgasvorlauftemperatur jedes Brenners neben der zur Anzeige geführten Messung durch ein zusätzlich instrumentiertes Thermoelement überwacht. Je ein aus Sicherheitsgründen hardwaremäßig realisierter und vom Rechner getrennt arbeitender Grenzwertschalter löst beim Überschreiten der maximal zulässigen Vorlauftemperatur von 650 °C das Abfahren des jeweiligen Brenners aus. Die Störung wird sowohl akustisch als auch im Anzeigefeld optisch signalisiert und kann nur manuell vom Anlagenpersonal durch Auslösen des Anfahrvorganges zurückgesetzt werden.

2.4. *Steuerung der Wärmerückgewinnungsanlage*

Die im Abgas enthaltene Abwärme soll zur anlageninternen Dampferzeugung genutzt werden (Wärmerückgewinnung). Der mögliche Energieentzug durch den Wärmeübertrager findet seine technologische Grenze dort, wo definierte Grenzwerte der resultierenden Abgastemperatur unterschritten werden und die Gefahr der Anlagenversottung besteht. In diesem Fall müssen die Abgase den Wärmeübertrager über einen Bypass umgehen, was vom Rechner entsprechend gesteuert werden muß. Die Wärmerückgewinnungsanlage soll durch das Anlagenpersonal an- und abschaltbar sein, so daß auch An- und Abfahrmechanis-

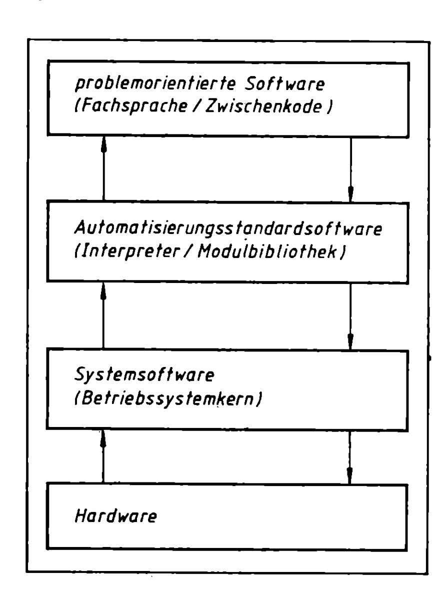


Bild 3. Schichtenarchitektur des Regel- und Steuerrechners

Tafel 2. Softwarekomponenten des Regel- und Steuerrechners

Betriebssystem	Fachsprach-Interpreter		Fachsprach-Zwischenkode-Dateien
	Modulbibliothek, unter anderem:		Regler Dampfdurchfluß
			Regler Unterdruck 1
Systemanlauf	Digitaleingabe	Anti-Windup-Modul	Regler Unterdruck 2
	Digitalausgabe	Begrenzung (MIN, MAX)	Regler Netzbandlauf
Zeitverwaltung	Analogeingabe	Totzone	
Taskverwaltung		Vorlast	
Prozessorverwaltung	Bit setzen/rücksetzen	Hysterese	Steuerung für die
	Transition	Komparator	Wärmerückgewinnung
	Vorwärts-/Rückwärtszähler	Totzeitglied	Überwachungssoftware
Analogeingabe	Schieberegister		
Digitaleingabe	Negator		
Digitalausgabe	Mehrfach-ODER	Halteglied	
	Mehrfach-UND	Analogschalter	
	Zeitglied	Dreipunktglied	
Konvertierung/Arithmetik	Flankendiskriminator	Differentialglied	
Systemverbindungen		T_1-Glied	
		Integrator	
	Multiplikation	PI-Glied	
	Division	PD-Glied	
	Addition	P-Glied	
	Subtraktion	Mischstelle	
	Quadratwurzel	Nachlaufintegrierer	
	Absolutbetrag		
	Inverter		
		Skalierung	
		Sinnfälligkeitstest	
	bedingte Anweisung	FIR-Filter	
	unbedingter Sprung	rekursives Filter	
	bedingter Sprung		
	Aufruf Assemblerprogramm	Bedienerkommunikation	

men realisiert werden müssen. Neben einer Füllstandsregelung für den Sammelbehälter sind darüber hinaus vor allem Sicherheits- und Überwachungsaufgaben zu erfüllen.

2.5. *Regelung des Netzbandlaufs*

Mit Hilfe des Rechners soll der Lauf des Netzbandes in der Mitte der Rollenführung gesichert und ein Anschlagen an die seitliche Begrenzung verhindert werden. Als Störgröße wirken thermische Veränderungen am Netzband, vor allem in der Anheizphase. Anstelle einer analogen Messung der Netzbandposition wird beidseitig ein Initiator am Netzband installiert. Als Stellglied des Reglers wirkt eine konstruktiv in der Netzbandführung integrierte Walze, deren Anstellwinkel durch einen elektrischen Klimact-Stellantrieb verändert werden kann. Die wirksamen Streckenzeitkonstanten sind sehr groß. Ein Stelleingriff wird erst im Laufe mehrerer Netzbandumdrehungen (Backdauer), also im Zeitraum mehrerer Stunden wirksam.

3. Software des Steuer- und Regelrechners

Um den notwendigen Anforderungen an Modularität, Flexibilität und Übersichtlichkeit gerecht zu werden, wurde das Softwarekonzept auf eine Schichtenarchitektur orientiert, in der jede Schicht einen virtuellen Rechner repräsentiert (Bild 3). Die Softwarekomponenten des Regel- und Steuerrechners zeigt Tafel 2. Die hardwarenächste Schicht, das Betriebssystem, enthält die angeführten Komponenten, die größtenteils aus den höheren Schichten über Systemrufe genutzt werden können. Zur Formulierung der eigentlichen Reglerprogramme wurde für die nächsthöhere Softwareschicht ein Fachsprachkonzept gewählt. Die Notierung erfolgt damit in Anlehnung an bekannte Signalflußpläne [2] und [5], kommt also der Denkweise des Regelungspraktikers weitgehend entgegen (Bild 4 und Tafel 3). Zur Übersetzung wurde ein zweistufiges Konzept („Compreter") gewählt, das den Hauptteil der lexikalischen Analyse in die Entwurfsphase am Mikrorechnerentwicklungssystem verlagert (Bild 5). Dieses erzeugt im ersten Übersetzungslauf eine Zwischenkodedatei, die in verdichteter Form alle wesentlichen Struktur- und Parameterinformationen enthält. Dieser Zwischenkode wird in den Speicher des Regelrechners (Zielrechner) übertragen und dort später interpretativ abgearbeitet.

4. Inbetriebnahmegerät

Die Montage der im Prüffeld getesteten Rechner in den Bäckereien, die Verkabelung mit den Öfen und das schrittweise Inbe-

Bild 4. Signalflußplan eines Reglers mit unterlagertem Positioner Fachsprachtext, s. Tafel 3 ◀

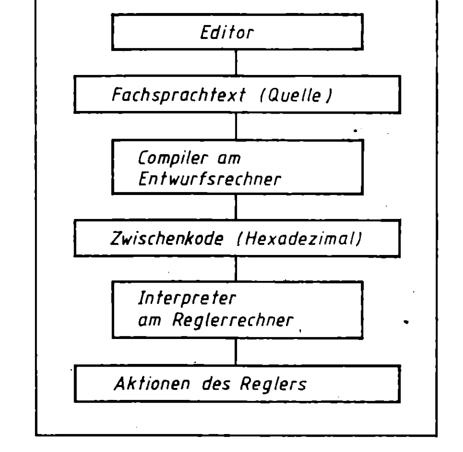


Bild 5. Compreterkonzept zur zweistufigen Übersetzung von Fachsprachnotationen

Tafel 3. Fachsprachtext zum Bild 4

0004				
0005				
0006				
0007		ANIN	TIM20, ADAMF	; EINLESEN DAMPF-MENGE
0008		STO	BSDAM	; MESSWERT → ANZEIGEZELLE
0009		SCAL	FAK2, OFF2	
0010		NEG1		; VORZEICHEN REGEL-ABWEICHUNG
0011		WIND	SOLL2, OFFW2, ZONW2	; ANTI-WINDUP-MODUL
0012		INTG	SPEI2, ANST2	; I-REGELALGORITHMUS
0013		MAX	MAX2	
0014		MIN	MIN2	; STELLGROESSEN-BEGRENZUNG
0015		STO	SOLL2	; SPEICHERN SOLL-STELLGROESSE
0016	MDM1:	DISP		; ANZEIGE
0017		ANIN	TIM20, APOS2	; EINLESEN POSITION
0018		STO	BSPS2	
0019		SUB1	SOLL2	; VERGLEICH MIT SOLL-STELLGROESSE
0020		TOTZ	HYST2	; HYSTERESE
0021		DRPT	OGL2, OGR2, OKL2	; SCHALTEN KLIMACT
0022		JNZ	ZIEL2	; WEITER POSITIONIEREN?
0023		STOP		
0024				
0025				
0026				

triebsetzen aller geforderten Rechnerfunktionen im Zusammenspiel mit diesen Anlagen erfordert entsprechend qualifiziertes Einfahrpersonal. Bei der schrittweisen Verifikation aller Funktionen zeigt das Inbetriebnahmegerät Zustände und Abläufe in Rechner und Anlage an und bietet Eingriffsmöglichkeiten auch in das rechnerinterne Geschehen. Angesichts der notwendigen Datenfülle werden die Informationen auf dem Bildschirm mit abgestuftem Detailliertheitsgrad dargestellt. Neben einer Übersichtsdarstellung der wesentlichen Größen lassen sich weitere Informationen im Sinne einer Einzeldarstellung wahlweise abrufen. Die Bildschirmfläche wird dazu in einen Bildrahmen und getrennt behandelbare Teilbilder zerlegt, die durch Befehle der Kommandosprache aufrufbar sind. Ein definiertes Fenster ist für den Kommandodialog reserviert. Der Regel- und Steuerrechner ist lediglich austauschprogrammierbar, sein Programm ist also auf EPROM gespeichert. Um diese Software während der Einfahrphase trotzdem in gewissen Grenzen manipulationsfähig zu gestalten, wird ausgenutzt, daß alle funktionsbestimmenden Komponenten als Fachsprachzwischenkode komprimiert vorliegen. Bei angeschlossenem Inbetriebnahmegerät wird dieser Zwischenkode auf einem RAM-Bereich abgearbeitet und ist damit z. B. Tastatureingriffen zugänglich (Bild 6).

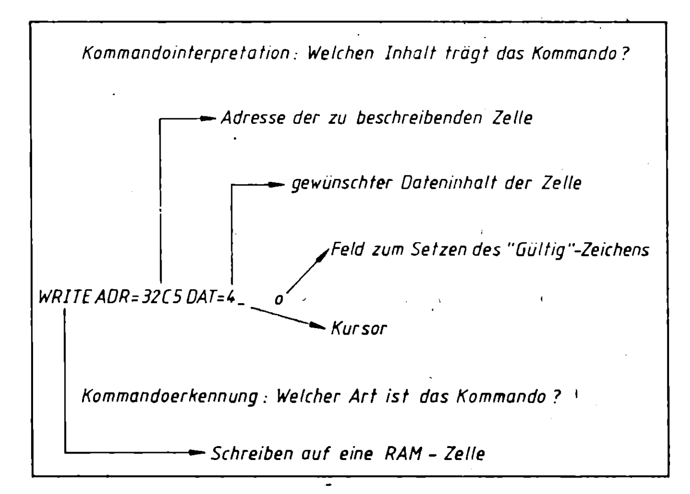


Bild 6. Funktion des Kommandointerpreters zur Kommunikation mit dem Inbetriebnahmegerät

Literatur

[1] *Birck, H.:* Kompaktregler mit Mikrorechner-Bausteinen. Dissertation, TU München 1977.
[2] *Müller, W.-R.:* Konzept eines freiprogrammierbaren Mikrorechnerreglers und die Realisierung seiner Softwarekomponenten. Dissertation A, TU Dresden 1983.
[3] *Schild, D.:* Übersicht zur Thermometrie mit Thermoelementen. msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 306–308.
[4] *Hennig, W.; Bege, M.:* Unser neuer Netzbanddurchlaufbackofen BN 5/21. KHA-Nachrichten 35, Kombinat NAGEMA 1985, S. 1–4.
[5] *Roth, M.; Schorrig, H.; Schulke, W.; Kowalski, O.:* Prozeß-Simulations- und Testsystem PROSIT. Dokumentation, TH Ilmenau 1983.

msr 8565

B. Möller; P. Schulz

Praktische Untersuchungen zur kontinuierlichen Temperaturmessung in Stahlschmelzen

0. Einleitung

Die Kenntnis der Schmelzbadtemperatur ist eine Voraussetzung für die energieoptimale und qualitätsgerechte Durchführung metallurgischer Prozesse. Die Beschleunigung dieser Prozesse setzt eine genaue und verzögerungsarme Temperaturmeßtechnik voraus, die den extremen Einsatzbedingungen — hohe Temperatur und chemische Aggressivität — gerecht wird. Für kleine Lichtbogenöfen, die wegen ihrer großen Anzahl energiewirtschaftlich interessant sind, existiert bislang keine geeignete Lösung. Ein Lösungsvorschlag der Autoren [1] und [2] soll in diesem Beitrag weiter untersucht bzw. ausgebaut und damit die Voraussetzung für die kontinuierliche Temperaturmessung an kleinen Lichtbogenöfen geschaffen werden.

Bild 1 verdeutlicht nochmals das Prinzip, das in [1] ausführlicher dargestellt ist. Die gewählte Lösung nutzt folgende Effekte:

- Berührungsspannung zweier Materialien (Halbleiter und Stahl)
- Thermospannung über einem Halbleiter ($\sim(T_W - T_K)$)
- Schmelze als leitende Brücke des Thermoelementes und des Meßkreises.

Die Thermospannung über dem Halbleiter ist so hoch, daß der Einsatz unter Störspannungseinfluß möglich ist. Der unmittelbare Kontakt mit dem Meßmedium führt zu einem vernachlässigbaren dynamischen Fehler. Der Verschleiß der in die Schmelze ragenden Stäbe aus Stahl und Halbleitermaterial sichert eine definierte Meßstelle und damit die Reproduzierbarkeit der Messung.

1. Erprobung der Grundprinzipien

1.1. *Schmelze als leitende Brücke eines Thermoelements*

Als Erprobungsobjekt dient wegen der leichteren Realisierbarkeit und größeren Verallgemeinerungsfähigkeit ein Thermoele-

Dipl.-Ing. *Bernd Möller* (29) studierte von 1978 bis 1983 an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik. Seit 1983 wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Forschung, Entwicklung und Rationalisierung des SAB, Betrieb des Schwermaschinenbaukombinates „Ernst Thälmann" Magdeburg.

Dr.-Ing. *Peter Schulz* (50) studierte von 1956 bis 1962 an der TH Ilmenau Regelungstechnik. 1962 bis 1969 wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg. 1968 Promotion A. 1976 Verleihung der „facultas docendi" für das Fachgebiet Prozeßmeßtechnik. 1970 bis 1982 Tätigkeit im VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg. Seit 1982 wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Forschung, Entwicklung und Rationalisierung des SAB, Betrieb des Schwermaschinenbaukombinates „Ernst Thälmann" Magdeburg.

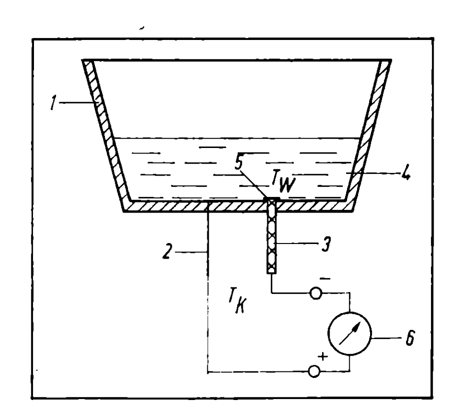


Bild 1. Anordnung und Meßkreis zur kontinuierlichen Temperaturmessung einer Stahlschmelze
1 Gefäß; 2 Stahlstab; 3 Halbleiter, n-leitend; 4 Stahlschmelze; 5 Halbleiter-Metall-Kontakt; 6 Anzeigegerät

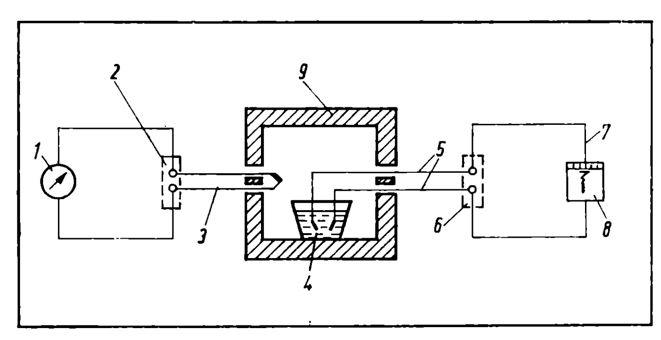


Bild 2. Versuchsanordnung mit Ni-CrNi-Thermoelement
1 mV-Meter; 2,6 thermisch gleiches Potential; 3 Pt-PtRh-Thermoelement; 4 Schmelze; 5Ni-CrNi-Thermoelement; 7 Meßkreis; 8 Schreiber; 9 Ofenwandung

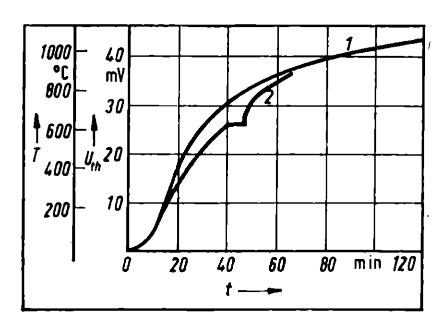


Bild 3. Thermospannungsverläufe beim Schmelzen von Aluminium und Kupfer
1 Ni-Kupferschmelze-CrNi; 2 Ni-Aluminiumschmelze — CrNi

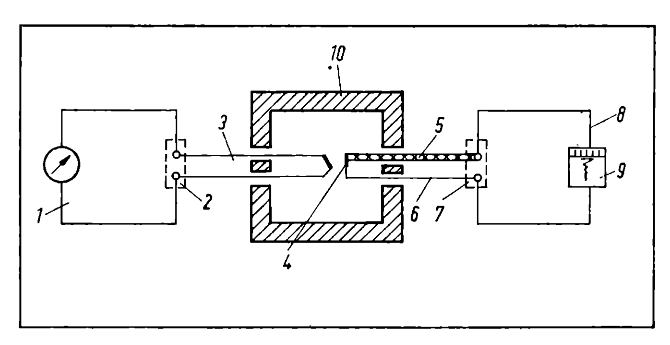


Bild 4. Versuchsanordnung mit SiC als Halbleiterthermoelement
1 mV-Meter, Vergleichsmessung; 2, 7 thermisch gleiches Potential; 3 Pt-PtRh-Thermoelement; 4 Halbleiter-Metall-Kontakt; 5 SiC; 6 Stahl; 8 Meßkreis; 9 Kompensationsschreiber; 10 Ofenwandung

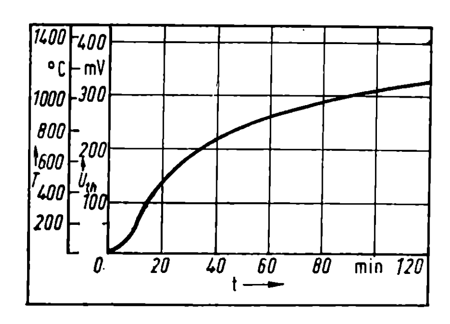


Bild 5. Thermospannungsverlauf eines SiC-Thermoelements

ment, bei dem die Berührungsspannung zweier Metalle genutzt wird. Die Paarung Nickel-Chrom/Nickel (Ni-CrNi) ist wegen der relativ großen Berührungsspannung besonders geeignet. Als Schmelzen wurden Aluminium und Kupfer mit Schmelztemperaturen von 660 °C bzw. 1083 °C gewählt, um die Temperaturen mit dem Ni-CrNi-Thermoelement beobachten zu können. Außerdem hat das den Vorteil, daß Öfen geringer Leistung ausreichen.

Bild 2 zeigt die Versuchsanordnung. Das zu schmelzende Metall befindet sich in einer Keramikschale auf dem Boden des Erwärmungsofens. Die Verbindung der wärmeren Enden des Ni-CrNi-Thermoelementes mit dem ungeschmolzenen Metall erfolgt durch Einfügen in zwei Bohrungen. Die Schenkel des Thermoelementes sind isoliert durch die Ofenwand geführt. Die kälteren Enden werden auf thermisch gleichem Potential gehalten und an einen Standardkompensationsschreiber vom Typ G1B1 zur Registrierung der Thermospannung angeschlossen.

Zum Vergleich wird die Innentemperatur mit einem Standard-Pt-PtRh-Thermoelement gemessen, das durch die gegenüberliegende Wand in den Ofenraum ragt.

Bild 3 zeigt je einen Thermospannungsverlauf für die beiden Schmelzen. Sie bestätigen die Eignung eines Thermoelementes aus zwei Materialien mit unterschiedlicher Austrittsarbeit [1] und der Schmelze als leitende Brücke für die kontinuierliche Temperaturüberwachung einer Metallschmelze. Da es sich lediglich um den Funktionsnachweis für ein Wirkprinzip handelt, sind die auftretenden Fehler, z. B. Differenz der Temperaturen am Ni-CrNi-Thermoelement und am Pt-PtRh-Thermoelement sowie solche infolge Oxydbildung an den Metallen und Ni-CrNi-Thermodrähten, unerheblich.

1.2. *Siliziumkarbidthermoelement*

Wird ein Halbleiter einem Temperaturgradienten ausgesetzt, so entsteht zwischen seinen Enden eine Thermospannung. In der Praxis ist daran auch die Berührungsspannung des Halbleiter-Metall-Kontaktes an den notwendigen Anschlüssen beteiligt [1]. Diese Thermospannung unterscheidet sich um den Faktor 5 bis 15 von dem Wert üblicher Thermoelemente aus zwei Metallen unterschiedlicher Austrittsarbeit [1].

Die Nutzung dieser hohen Thermospannung für die Temperaturüberwachung in Stahlschmelzen erfordert ein Halbleitermaterial mit ausreichender Widerstandsfähigkeit gegenüber den hohen Temperaturen und der chemischen Beanspruchung. Hierfür eignet sich Siliziumkarbid (SiC). In Form von Heizstäben und Trägerrohren aus dem VEB Elektrokohle Berlin-Lichtenberg steht n-leitendes Material für die Versuche zur Verfügung.

Bild 4 veranschaulicht die Versuchsanordnung zum Nachweis der Thermospannung. Ein Siliziumkarbidstab ragt mit einem Ende in den Innenraum eines Erwärmungsofens. Zum Anschluß des wärmeren Endes an den Meßkreis ist parallel zum Siliziumkarbidstab ein hochschmelzender Metalleiter durch die Ofenwandung geführt, wobei der Kontakt mittels Klemmschelle realisiert wird. Die kälteren Enden von Siliziumkarbidstab und Metalleiter, die auf thermisch gleichem Potential gehalten werden, sind an einen Standardkompensationsschreiber G1B1 zur Aufzeichnung der Temperatur im Ofeninnenraum angeschlossen. Die Vergleichstemperaturmessung erfolgt mit einem Pt-PtRh-Thermoelement. Dieses ragt durch die gegenüberliegende Wandung.

Bild 5 veranschaulicht gleichzeitig den Verlauf der Thermospannung des Halbleiters sowie der entsprechenden Vergleichstemperatur in Abhängigkeit von der Zeit. Daraus läßt sich eine relative Thermospannung von 300 µV/K ablesen. Das beweist die hohe Temperaturbeständigkeit von Siliziumkarbid. Die hohe relative Thermospannung sichert ein günstiges Verhältnis von Nutzsignal zu auftretender Störspannung. Dadurch wird der Fehlereinfluß der Berührungsspannungen an den verschiedenen Kontaktstellen unterschiedlicher Materialien innerhalb des Meßkreises gering.

1.3. *Bedeutung der Halbleiterthermoelemente*

Den Ausgangspunkt bildet ein Vergleich der Ergebnisse an einem Thermopaar aus zwei unterschiedlichen Metallen und einer Metallschmelze als leitende Verbindung gemäß Abschn. 1.1. (Bild 3) mit Angaben aus der Literatur [3]. Bild 6 stellt die Ergebnisse dar, indem die Thermospannungen in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen sind.

Im Bereich von 200 °C bis 1000 °C können nur geringfügige Unterschiede festgestellt werden. Sie resultieren aus den unter Abschn. 1.1. genannten Fehlerquellen. Weiterhin zeigt Bild 6 die Darstellung von Versuchsergebnissen mit einem Siliziumkarbidstab im Vergleich mit entsprechenden Werten aus [3]. Gemäß [3] besteht eine Reproduzierbarkeit von 1%. In dem Bereich von 700 °C bis 1100 °C beträgt die Abweichung zum Versuch maximal 3 mV, das entspricht 10 K. Im unteren Bereich von 200 °C bis 700 °C weichen die Verläufe maximal 10 mV (30 K) voneinander ab. Der Fehler in diesem Bereich ist in erster Linie auf die lokale Trennung der Meßorte vom Pt-PtRh-Thermoelement und SiC-Stabende zurückzuführen (siehe Bild 4). Dieser kann durch geeignete konstruktive Veränderungen reduziert werden. Der Vergleich der Thermospannungen in den Bildern 3 und 5 zeigt, daß die Thermokraft an einem SiC-Stab etwa um den Faktor 7 größer als die von einem Ni-CrNi-Thermoelement ist. Damit erweist sich Siliziumkarbid derzeit für die kontinuierliche Temperaturmessung von Stahlschmelzen als besonders geeignet.

2. Untersuchungen unter Prozeßbedingungen

2.1. Versuchsbedingungen

Das Ziel der Versuche besteht in der Erprobung einer Meßanordnung zur kontinuierlichen Temperaturüberwachung einer Stahlschmelze. Dazu werden Versuche auf der Grundlage von [2] und [4] für elektrisch leitende Medien durchgeführt. Der Meßkreis besteht bei sämtlichen Versuchen aus folgenden Elementen: Siliziumkarbid, Stahlstab als Abgriffelement, elektrische Zuleitungen, Standardkompensationsschreiber G1B1 (Bild 1). Die Stahlschmelze stellt innerhalb des Meßkreises die elektrische Verbindung zwischen dem wärmeren Ende des SiC-Stabes und dem Abgriffelement dar. Damit wird das Potential des wärmeren Endes zum Abgriffelement übertragen, so daß die zu messende Thermospannung als Summe der temperaturproportionalen Spannung über dem SiC-Stab und dem Halbleiter-Metall-Kontakt zwischen den kälteren Enden ansteht. Die Temperatur an den kälteren Enden von SiC-Stab und Stahlstab findet in den folgenden Untersuchungen keine Berücksichtigung. Messungen zeigen, daß der Wärmestrom durch den Siliziumkarbidstab die Vergleichsstelle erst nach 150 s um etwa 10 K erwärmt. Im Vergleich mit der Schmelzbadtemperatur ist diese Temperaturdifferenz vernachlässigbar.

An die Meßanordnung für die Zielvariante werden wegen der extremen Einsatzbedingungen sehr hohe Anforderungen gestellt. Sie sind u. a. durch hohe Temperatur der Schmelze, hohe Umgebungstemperatur, Freiraum zum Messen und Abhängigkeit vom Produktionsprozeß charakterisiert. In der Anfangsphase der Experimente wird nach einem Meßort gesucht, an dem diese extremen Bedingungen nur gemindert auftreten. Deshalb erfolgten die ersten Messungen im Reststahlbehälter.

2.2. Reduzierte Einflußfaktoren — Reststahlbehälter

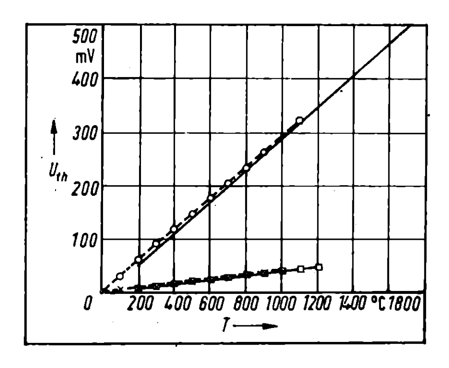
Zur Durchführung der Messungen wird ein Reststahlbehälter mit Flüssigstahl gefüllt. Die Temperaturen der Stahlschmelze liegen zwischen 1570 °C und 1620 °C. Wegen der niedrigen Umgebungstemperaturen kann ein besonderer Schutz für die Meßanordnung entfallen. Des weiteren ist genügend Freiraum vorhanden, und die Messungen stören den Produktionsprozeß kaum. Die Meßbedingungen sind somit relativ günstig.

Die verwendete Meßanordnung (s. [1]) besteht aus einer Sonde, die den Siliziumkarbidstab und das Abgriffselement in der Anordnung gemäß [4] umfaßt und am Ende einer Lanze zur Tauchmessung befestigt ist, sowie einem Schreiber zur Aufzeichnung der temperaturproportionalen Spannung. Nach dem Abstich der Stahlschmelze wird die Sonde manuell etwa 7—10 cm tief in die Schmelze eingetaucht und zur Verhinderung des Einfrierens etwas bewegt. In dieser Position verbleibt sie etwa 150 s. Die Messung wird mit dem Einsetzen der Schollenbildung beendet.

Der Thermospannungsverlauf (s. [1]) hat am Anfang einen steilen Anstieg und erreicht nach etwa 10 s einen relativ konstanten Wert von rund 470 mV.

Eine sprunghafte Änderung ist jedoch nicht gegeben, da der Schreiber einerseits eine Trägheit hat und andererseits die Sonde selbst Energie aufnimmt, um den Temperaturausgleich zu erreichen. Die Schwankungen in dem relativ konstanten Bereich

Bild 6. Vergleich der Versuchsergebnisse mit [3]
SiC: ——— Ergebnis nach [3], ○ - - ○ Ergebnis der Probe; Ni-CrNi: □ — □ Ergebnis nach [3], × - - × Ergebnis der Probe



resultieren aus dem manuellen Eintauchen der Sonde, wobei durch die starke Lichtstrahlung nicht immer eine eindeutige Eintauchtiefe eingehalten werden kann, sowie aus der notwendigen Bewegung zur Verhinderung des Einfrierens.

Das Versuchsergebnis beweist die Funktionstüchtigkeit des Wirkprinzips an Stahlschmelzen. Mit den folgenden Versuchen soll das unter Verschärfung der Einflußfaktoren nachgewiesen werden.

2.3. Kurzzeitmessung im Lichtbogenofen

Der Lichtbogenofen stellt einen Meßort mit extremen Einsatzbedingungen dar. Die Temperatur der Schmelze beträgt etwa 1600 °C bis 1700 °C. Die der Schlacke liegt noch wesentlich höher. Sie kann Werte bis 2000 °C erreichen. Weiterhin liegt die Temperatur des Gases zwischen Schmelze und Ofendeckel ebenfalls bei 1600 °C. Hinzu kommt, daß die Stahlschmelze während einiger Abschnite des Schmelzprozesses sehr aggressiv ist. An die Meßeinrichtung werden somit hohe Anforderungen gestellt, insbesondere an die Sonde.

Bild 7 zeigt das Prinzip der verwendeten Meßanordnung zur Tauchtemperaturmessung im Lichtbogenofen.

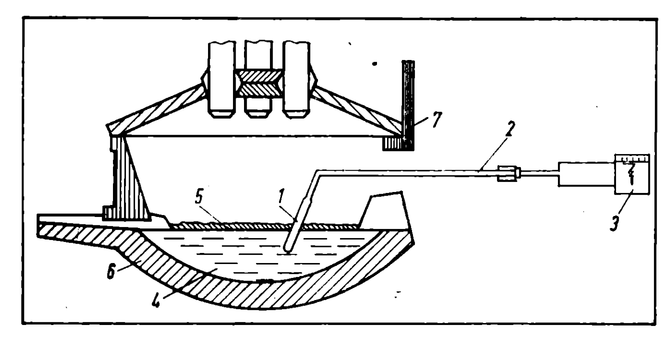
Der Aufbau gleicht dem für die Messung in einem Reststahlbehälter, nur daß die Sonde zum verbesserten thermischen Schutz eine Pappummantelung hat. Außerdem erfordert die Verwendung eines n-Halbleiters sowie eines Schreibers mit unsymmetrischem Eingang eine Potentialtrennung zwischen Schmelze und Gerätemasse.

Die Temperaturmessung erfolgt folgendermaßen:

Nach dem Öffnen der Ofentür wird die Tauchlanze manuell in den Ofeninnenraum geführt und die Sonde durch die Schlackeschicht hindurch etwa 10 cm in die Schmelze eingetaucht. Die Messung muß nach etwa 10 bis 15 s abgebrochen werden, da einerseits der Wärmestrom durch die Sonde die Messungen verfälscht und andererseits das Material zum Schutz der Sonde abbrennt. Die Sonde steht somit wieder zur Analyse der Materialbeschaffenheit zur Verfügung. Um einen Vergleichswert zu erhalten, wird abschließend die Temperatur T_{mes} der Schmelze mit einer herkömmlichen Tauchlanze [1] gemessen.

Bild 8 zeigt einen charakteristischen Thermospannungsverlauf bei einer Schmelzbadtemperatur T_{mes} von 1670 °C. Die Meßkurve gleicht der für den Reststahlbehälter. In der Anfangsphase ist ein steiler Anstieg sichtbar, der wiederum auf die Trägheit des Schreibers und die Energieaufnahme durch die Sonde zurückzuführen ist. Nach etwa 8 s stellt sich ein stabiler Wert von etwa 560 mV ein. Nimmt man die herkömmliche Tauchtempera-

Bild 7. Prinzip der Temperaturmessung im Lichtbogenofen
1 Sonde; 2 Tauchlanze; 3 Schreiber; 4 Stahlschmelze; 5 Schlacke; 6 Gefäßwandung; 7 Ofentür



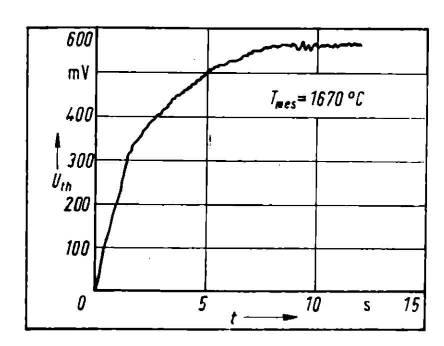


Bild 8. Thermospannungsverlauf bei einer Tauchlanzenmessung im Lichtbogenofen

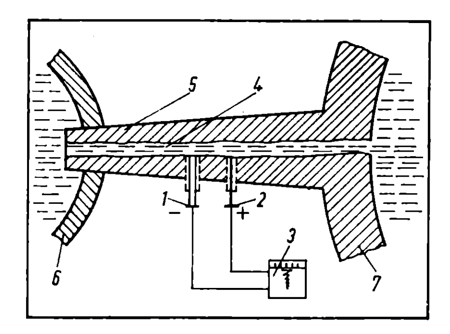


Bild 9. Anordnung zur Rinnenmessung am Lichtbogenofen

1 SiC-Stab; 2 Stahlstab; 3 Schreiber; 4 Stahlschmelze; 5 Abstichrinne; 6 Abstichpfanne; 7 Ofengefäß

turmessung mit 1670 °C als Grundlage, so hat die Sonde eine Thermokraft von 335,3 µV/K.

Die Schwankungen im Kurvenverlauf sind eine Folge der starken Magnetfelder, die durch in der Nähe verlaufende Strombahnen mit Strömen von 10 bis 20 kA hervorgerufen werden.

Eine geringe Abtragung weist auf die große Widerstandsfähigkeit von Siliziumkarbid hin. Der Stahl haftet kaum an der Siliziumkarbidoberfläche. Materialveränderungen sind nach derartigen Versuchen auch nicht feststellbar.

2.4. Einfügen in den Prozeß — Messung in der Abstichrinne

Die Temperaturmessung in der Rinne des Lichtbogenofens bedeutet für die Meßanordnung eine weitere Verschärfung der Einsatzbedingungen. Wichtigster Faktor ist die Verlängerung der Meßzeit bei hohen Temperaturen. Die Temperaturen der Schmelze betragen während des Abstiches etwa 1620 °C bis 1680 °C. Ein weiterer Faktor ist der, daß sich der Stahl im Fluß befindet. Somit wirken starke mechanische und thermische Einflüsse auf die Meßanordnung. Eine zusätzliche Anforderung wird dadurch an das SiC gestellt, daß die Meßanordnung für mehrere Messungen in der Ofenrinne verbleibt.

Im Bild 9 ist die Anordnung zur Rinnenmessung am Lichtbogenofen dargestellt. Die Meßanordnung besteht aus einem SiC-Stab und einem Stahlstab sowie einen daran angeschlossenen Standardkompensationsschreiber. SiC-Stab und Stahlstab werden von außen bis zum Kontakt mit der Schmelze durch die Wandung der Ofenrinne geführt und bleiben dort fest eingebettet. Wenn zum Abschluß eines Schmelzprozesses die Stahlschmelze abgestochen wird, fließt diese über die herausragenden Enden von SiC-Stab und Stahlstab und verbindet sie. Die Dauer des Abstiches beträgt etwa 15 s.

Die an den kalten Enden der beiden Stäbe anliegende Thermospannung wird über diese Zeit mit dem Schreiber aufgezeichnet. Das setzt wieder die Potentialtrennung von Schmelze und Schreibermasse voraus.

Bei wiederholten Messungen konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Unterschiede sind lediglich auf die unterschiedlichen Kippbewegungen des Ofens zurückzuführen. Bild 10 zeigt einen typischen Thermospannungsverlauf während eines Abstichs.

Nach dem ersten Abstich verbleibt ein Stahlrest in der Rinne, so daß die Meßeinrichtung bereits vor dem nachfolgenden Abstich wirksam ist. Damit wird eine Thermospannung von 30 mV gemessen. Sie wird durch den Temperaturunterschied zwischen dem Inneren der Abstichrinne und der Ofenumgebung hervorgerufen, die durch die Wärmestrahlung erwärmt wird. Nachdem die Stahlschmelze mit den Enden in der Ofenrinne in Kontakt tritt, steigt die Thermospannung steil auf etwa 550 mV an.

Die starken Spannungsschwankungen sind durch den unruhigen Schmelzenfluß und den diskontinuierlichen Abstich begründet. Die Folge davon ist ein unbeständiger Kontakt der Stahlschmelze mit den beiden Stäben, wodurch kurzzeitige Temperaturabfälle und damit Spannungsabfälle auftreten. Wenn kein weiterer Stahl abfließt, fällt die Thermospannung langsam ab. Der Abfall hängt stark von der Wärmekapazität der Rinnenauskleidung ab und kann sehr unterschiedlich sein.

Mit der o. g. Meßanordnung ist es möglich, die Messung wiederholt durchzuführen, wobei der SiC-Stab in der Abstichrinne fest eingebaut bleibt.

Eine Analyse des SiC-Materials ergibt, daß der Stab durch die mechanischen und thermischen Belastungen bis zur Rinnen-

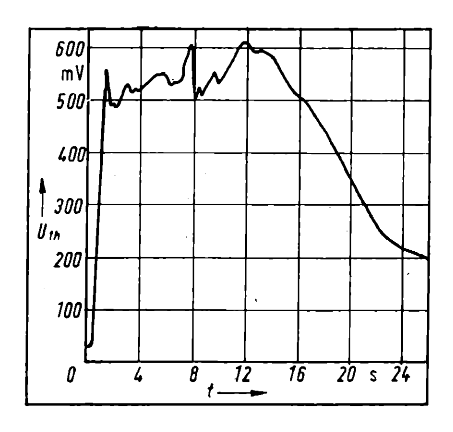


Bild 10. Thermospannungsverlauf in der Ofenrinne während des Abstichs

oberfläche abgetragen wird. Da aber trotz dieser Abtragung der Meßkreis bei erneutem Abstich geschlossen wird, erweist sich die Meßeinrichtung für den Dauereinsatz als geeignet.

Schlußfolgerungen und Zusammenfassung

Die Erprobung der Grundprinzipien einzeln und kombiniert unter steigenden Versuchsbedingungen erweist sich als geeignete Methode zur rationellen Entwicklung von Meßeinrichtungen für extreme Einsatzbedingungen, wie sie bei einer Stahlschmelze auftreten. Die Ergebnisse bestätigen die Eignung des gewählten Wirkprinzips zur kontinuierlichen Temperaturüberwachung von Stahlschmelzen. Besonders vorteilhaft ist die Tatsache, daß auf eine vorhandene Materialbasis zurückgegriffen werden kann. Während Siliziumkarbid eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber thermischen und chemischen Beanspruchungen aufweist, müssen besondere Maßnahmen zum Schutz vor mechanischer, insbesondere Stoßbeanspruchung getroffen werden. Vorteilhaft ist das geringe Anhaften von Stahl am Siliziumkarbid.

Der große Meßeffekt sichert die Funktion auch bei erheblichen elektrischen Störungen und bildet damit eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz an einem Lichtbogenofen. Das ermöglicht die mikrorechnergesteuerte Energiezufuhr in Abhängigkeit von der Badtemperatur. Selbstverständlich eignet sich das Verfahren auch zur Temperaturüberwachung an Stahlschmelzen bei anderen metallurgischen Prozessen, z. B. beim Warmhalten.

Die somit gegebene Universalität macht die Weiterentwicklung des Siliziumkarbids und die Entwicklung der Meßeinrichtungen volkswirtschaftlich bedeutungsvoll. Bezüglich des Siliziumkarbids gilt es, die Konstanz der elektrischen Parameter, insbesondere Thermokraft, zu verbessern oder die Toleranzen durch die Auswertung der Meßergebnisse zu berücksichtigen. Bei der Entwicklung von Meßeinrichtungen zum Einsatz an Lichtbogenöfen erfordert die prozeßbedingte elektrische Verbindung zwischen der Schmelze und der Schutzerde des Gefäßes besondere Beachtung.

Die kurzfristige Realisierung der Versuche unter prozeßnahen Bedingungen war nur mit der Unterstützung durch den Laborbereich und den Schmelzbetrieb des VEB MAW Stahlgießerei „Wilhelm Pieck“ Rothensee in Magdeburg sowie von Mitarbeitern der Technischen Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg und des VEB Elektrokohle Berlin-Lichtenberg möglich. Dafür möchten sich die Autoren bedanken.

(Fortsetzung auf Seite 317)

F. Löffler; R. Werthschützky

Piezoresistive Drucksensoren für die Automatisierungstechnik (Teil 2)[1)]

2.3. *Kennwerte des Druck- und Differenzdrucksensors*

Im Bild 8 sind die für die betriebsinterne Prüfung geltenden Berechnungsvorschriften der wichtigsten Kennwerte des Drucksensors festgelegt. Zur Vereinfachung der Auswertung wird die statische Sollkennlinie nach der Methode der Festpunkteinstellung angegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei Anwendung der Toleranzband- oder Nullpunkteinstellung mit einer Verringerung des Linearitätsfehlers bis um den Faktor 2 zu rechnen ist.

Für Differenzdrucksensoren zur Durchflußmessung ist der Einfluß des statischen Druckes p_{st} des Meßmediums auf das Nullpunktsignal U_{a0} des Sensors wesentlich. Hierfür wird der Fehler des statischen Druckes

$$F_{st} = \frac{U_{a0}(p_{st})}{U^*_{a\,max} \cdot 10\ \mathrm{MPa}}, \quad U^*_{a\,max} = U_a(p_{max}) - U_{a0}$$

angegeben.

Die systematischen Fehler (F_{Lin}, α_N, α_B, F_{st}) sind durch bekannte passive und aktive Kompensationsverfahren [11] korrigierbar.

Zur Beschreibung der zufälligen Fehler wird die Änderung des Nullpunktes $\Delta\tilde{U}_{a0}$ und des Endwertes $\Delta\tilde{U}_{a\,max}$ jeweils bei Referenztemperatur während und nach dem Durchfahren eines vollständigen Temperaturzyklus (−40 °C bis +80 °C) gemessen. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, daß diese mit noch vertretbarem Meßaufwand feststellbaren Kennwerte eine hinreichend gute, qualitative Einschätzung der zufälligen Fehleranteile des Drucksensors gestatten.

Der meßtechnische Aufwand bei der Sensorfertigung liegt bei mindestens 50% des Gesamtfertigungsaufwands. Damit besteht eine weitere Schwerpunktaufgabe der Drucksensorentwicklung im Bau von automatischen, mikrorechnergestützten Druck- und Temperaturmeßplätzen.

Eine Übersicht der typischen Sensorkennwerte ist in Tafel 5 meßbereichsabhängig dargestellt. Es ist erkennbar, daß die zufälligen Fehler F_{DN}, F_{DB} und der statische Fehler F_{st} mit abnehmendem Meßbereich und somit abnehmender Siliziumplattendicke anwachsen. Die Ursache hierfür liegt im zunehmenden Einfluß des Schichtaufbaus des Siliziumchips.

Die Temperaturkompensation des Nullpunktes erfolgt mit Hilfe eines passiven Widerstandsnetzwerkes, das auf einer mit dem Sensorgehäuse vergossenen Leiterplatte angeordnet ist.

Die typische Temperaturabhängigkeit des Übertragungsfaktors ist im Bild 9 dargestellt. Im Rahmen dieses Übersichtsbeitrages wird nicht auf die speziellen Kompensationsschaltungen eingegangen. Die Grundprinzipien werden in [9] und [11] ausführlich diskutiert.

Der Linearitätsfehler nimmt mit abnehmendem Meßbereich für $p_{max} < 250$ kPa bei konstanter Empfindlichkeit $\Delta R/R$ stark zu. Deshalb erfolgt für den Meßbereich 40 kPa eine Empfindlichkeitsreduzierung. Die trotzdem noch relativ großen Linearitätsfehler von 0,2% bis 0,7% werden durch eine aktive Kompensationsschaltung in der Auswerteelektronik [11] kompensiert. Im

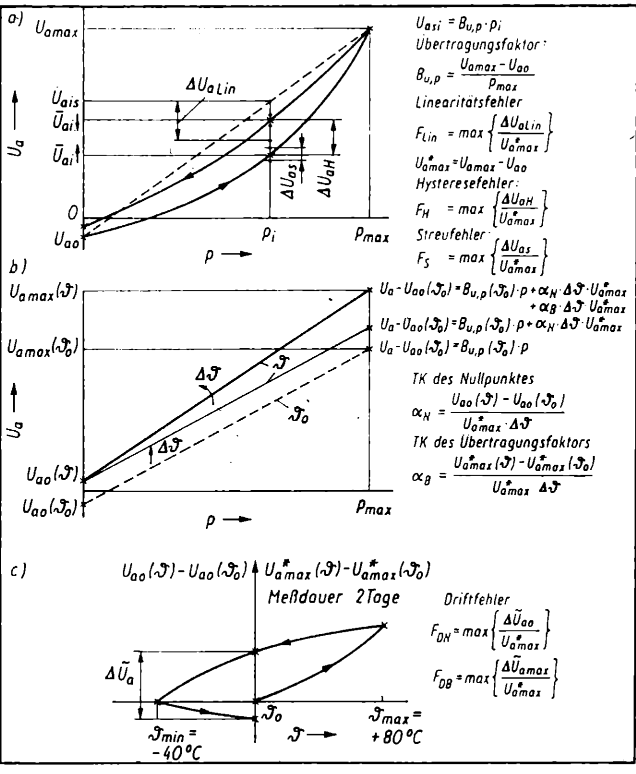


Bild 8. Festlegung der Sensorkennwerte

a) statisches Übertragungsverhalten — systematische Fehler; b) Temperatureinfluß — systematische Fehler; c) zufällige Fehler

Bild 10 ist der typische Linearitätsfehlerverlauf für den 100-kPa-Meßbereich mit und ohne Kompensation angegeben.

Die Angabe des Gesamtfehlers F_G hängt von den konkreten Einsatzbedingungen beim Anwender ab. Hier wird der Gesamtfehler aus der quadratischen Addition der Einzelfehler berechnet

$$F_G = \sqrt{F^2_{Lin} + (\alpha_{max} \cdot \Delta\vartheta)^2 + F^2_{D\,max} + F^2_{st}}\,.$$

Tafel 5. Übersicht der unkompensierten und kompensierten Sensorkennwerte (betragsmäßige Fehlerangabe)

<table>
<tr><th colspan="2">Meßbereich
Kennwert</th><th>40 kPa
(0,4 bar)</th><th>100 kPa ... 25 MPa
(1 bar ... 250 bar)</th></tr>
<tr><td colspan="2">$\bar{r} = \frac{\Delta R}{R} \Big/ \%$</td><td>3 ± 0,4</td><td>5 ± 0,8</td></tr>
<tr><td>F_{Lin}/%</td><td>unkompensiert</td><td>0,5 ± 0,2</td><td>0,4 ± 0,15</td></tr>
<tr><td></td><td>kompensiert</td><td colspan="2">0,05 ... 0,25</td></tr>
<tr><td colspan="2">F_H/%</td><td colspan="2">≦ 0,1</td></tr>
<tr><td colspan="2">F_S/%</td><td colspan="2">≦ 0,1</td></tr>
<tr><td colspan="2">F_{DN}/%</td><td>0,3 ± 0,15</td><td>0,1 ± 0,05</td></tr>
<tr><td colspan="2">F_{DB}/%</td><td>0,2 ± 0,1</td><td>0,1 ± 0,1</td></tr>
<tr><td>α_N/%/10K</td><td>unkompensiert</td><td colspan="2">0,4 ± 0,1</td></tr>
<tr><td></td><td>kompensiert</td><td colspan="2">0,1 ± 0,05</td></tr>
<tr><td>α_B/%/10K</td><td>unkompensiert</td><td colspan="2">0,5 ± 0,2</td></tr>
<tr><td></td><td>kompensiert</td><td colspan="2">0,1 ± 0,05</td></tr>
<tr><td colspan="2">R_l, α_R</td><td colspan="2">R_l = 4,5 ... 5,5 kΩ (ϑ_0 = 30 °C);
α_R = +2,5 ... +3,0%/10 K (ϑ = +30 °C bis +80 °C)</td></tr>
<tr><td colspan="2">F_{st}%/10 MPa</td><td>0,2</td><td>0,1</td></tr>
</table>

[1)] Teil I erschien im H. 5/1987.

(Fortsetzung von Seite 316)

Literatur

[1] *Schulz, P.; Möller, B.:* Kontinuierliche Temperaturüberwachung von Stahlschmelzen. msr, Berlin 30 (1987) 3, S. 98–102.
[2] *Lemke, E.; Möller, B.; Schulz, P.:* Verfahren und Einrichtung zum kontinuierlichen Messen hoher Temperaturen. Patentschrift DD-WP 243345 vom 10. Dezember 1985.
[3] *Keinath, G.:* Nichtmetallische Thermoelemente für höchste Temperaturen. ATM-Blatt J 241-4, April 1935.
[4] *Grünthal, G.; Lemke, E.; Möller, B.; Schulz, P.:* Sensor zum Messen hoher Temperaturen. Erfindungsanmeldung vom 26. Juni 1986, Aktenzeichen WP G01K/2917092.
msr 8544

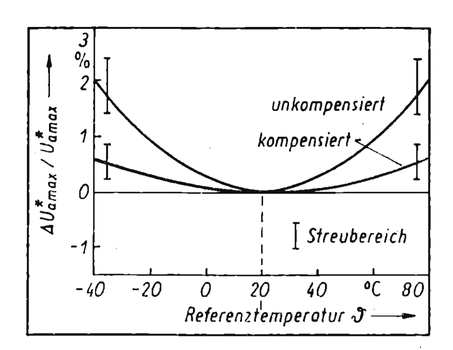


Bild 9. Typische Temperaturabhängigkeit des Eberwachungsfaktors

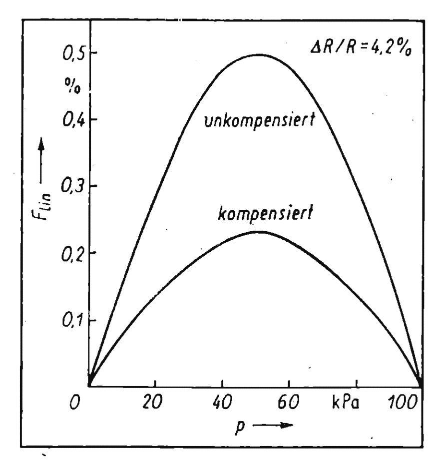


Bild 10. Typischer Linearitätsfehler des 100-kPa-Drucksensors

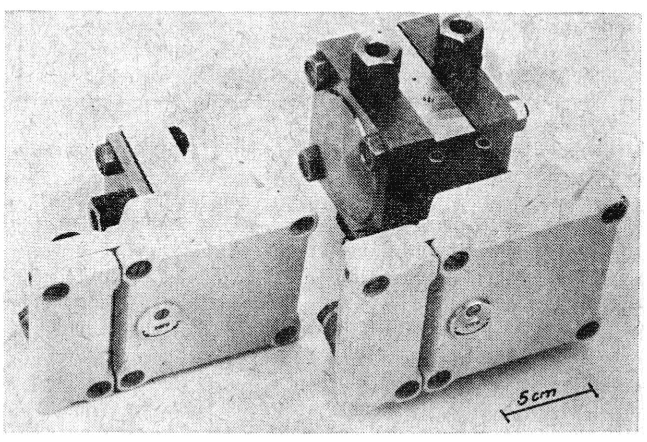


Bild 11. Halbleitermeßumformer „audapas"

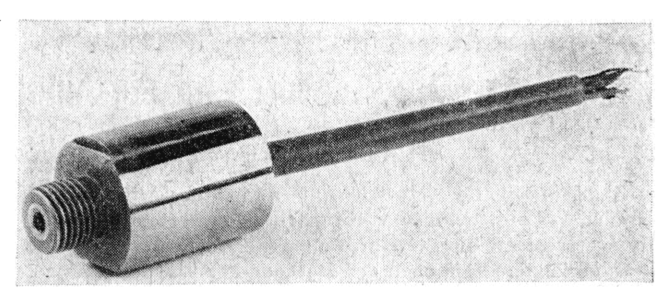


Bild 12. Präzisionsdruckwandler
Ausführungsbeispiel für Absolutdruck

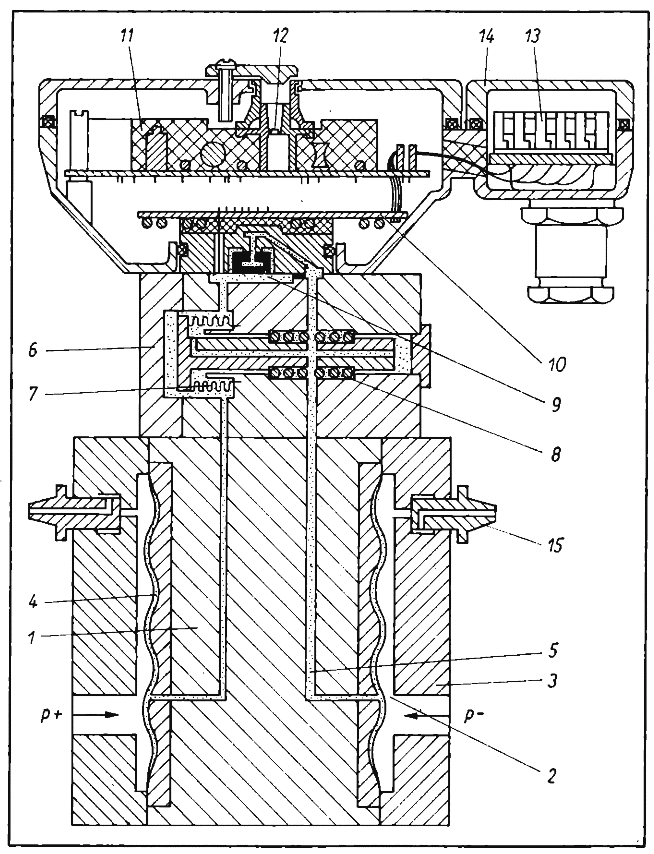


Bild 13. Bauprinzip der Meßumformer

1 Meßwertblock, 2 Meßkammer mit Prozeßleitungsanschluß, 3 Meßkammerdeckel, 4 Trennmembran, 5 Druckübertragungskanäle mit Silikonölfüllung, 6 Überlastschutzeinrichtung, 7 Metallbalg der Überlastschutzeinrichtung, 8 Überlastfeder, 9 Drucksensor, 10 Kompensationsleiterplatte mit Temperaturankopplung an 9, 11 Auswerteelektronik (Verstärker), 12 Feineinstellung des Meßbereichsanfangswertes (Nullpunkt), 13 Anschlußklemmen, 14 Deckel des Anschlußklemmenkastens, 15 Entlüftungsstutzen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Druck- und Differenzdrucksensoren hinsichtlich der systematischen und zufälligen Fehler für die Meßbereiche $p_{max} \geqq 100$ kPa einen Gesamtfehler von 0,1 bis 0,5% einhalten. Der Streubereich ist durch technologische Fertigungstoleranzen bedingt. Für den 40-kPa-Meßbereich tritt eine Vergrößerung auf 0,4% bis 0,7% auf. Diese Gesamtfehler sind auf eine Temperaturänderung von 10 K bezogen.

3. Geräteausführungen

Der im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Halbleiterdrucksensor bildet die Grundlage für die Entwicklung der industriell einsetzbaren Gerätevarianten, Halbleitermeßumformer (Bild 11) und Präzisionsdruckwandler (Bild 12). Nachfolgend werden diese Geräteausführungen näher erläutert.

3.1. Aufbau, Funktion und Typenübersicht der Halbleitermeßumformer „audapas"

Hauptsächliches Einsatzgebiet von Halbleitermeßumformern ist die Prozeßautomatisierung in den Bereichen Chemie, Petrolchemie und Kraftwerksindustrie. Die funktionellen Parameter, Montagebedingungen und elektrischen Anschlußkennwerte wurden darauf abgestimmt [12].
Die Konstruktion der Halbleitermeßumformer gliedert sich in die Baugruppen (Bild 13)

- Trennmembranblock (1 ... 4)
- Überlastschutzeinrichtung (6 ... 8)
- Druck- bzw. Differenzdrucksensor (9, 10)
- Auswerteelektronik (11, 12)
- Gehäuse mit Anschlußkasten (13, 14).

Diese getrennten Funktionseinheiten gewährleisten einen hohen Standardisierungsgrad in der Produktion zur Herstellung einer vielfältigen Typenpalette von Druck- und Differenzdruckmeßumformern.
Die Funktionsweise eines Differenzdruckumformers soll anhand der Schnittdarstellung nach Bild 13 erläutert werden. Der zu messende Prozeßdruck wirkt auf die flexiblen metallischen Trennmembranen, die aus korrosionsfestem Material bestehen und den Einsatz aggressiver gasförmiger oder flüssiger Meßmedien ermöglichen. Die Ankopplung des Differenzdrucksensors an die Trennmembranen erfolgt über eine Silikonölfüllung.
Zwischen den Trennmembranen und dem Differenzdrucksensor befindet sich die Überlastschutzeinrichtung. Sie hat die Aufgabe, im Zusammenspiel mit den Trennmembranen Drücke oberhalb des Nennmeßbereichs vom Differenzdrucksensor fernzuhalten

und damit diesen vor mechanischen einseitigen Überlastungen zu schützen. Tritt ein einseitiger Druck oberhalb des Nennmeßbereichs des Differenzdruckumformers auf, legt sich die betreffende Trennmembran an ihr Profilbett an, und das verdrängte Silikonöl wird von dem Federelement der Überlastschutzeinrichtung (Metallbalg) aufgenommen. Die für jeden Nennmeßbereich spezifisch festgelegte Einsatzschwelle der Überlastschutzeinrichtung ist durch eine genau dimensionierte Druckfeder im Überlastschutz gewährleistet. Auf diese Weise werden auch langzeitig anhaltende einseitige Überlastungen vom Differenzdrucksensor ferngehalten. Nach Rückgang der Überlastung ist der Meßumformer wieder ohne Nachwirkungen und Beeinträchtigungen seiner Kennwerte voll funktionsfähig.

Die Aufgabe der Auswerteelektronik besteht in der

- Speisung der Sensormeßbrücke mit einem Konstantstrom
- Verstärkung der druckproportionalen Ausgangsspannung des Sensors
- Erzeugung eines Einheitsausgangssignals (eingeprägter Strom)
- aktiven Nichtlinearitätskorrektur der Sensorausgangsspannung.

Alle Bauelemente der Auswerteelektronik sind auf einer Leiterplatte angeordnet. Zum Schutz vor Umwelteinflüssen sind bei der Normalausführung alle Bauteile versiegelt und bei exgeschützten Ausführungen zu einem Block vergossen.

Das Gehäuse besteht aus 2 getrennten Räumen. In einem sind die Klemmen für den Anschluß der Versorgungsleitungen untergebracht, und im anderen ist die Leiterplatte mit der Auswerteelektronik angeordnet. Auf der Leiterplatte befinden sich Einstellelemente für

- die Dämpfung (einstellbar von 0,2 ... 3,5 s)
- den Meßbereich (Meßbereichsspreizung bis maximal 1:4)
- den Nullpunkt (Nullpunktunterdrückung bis maximal 75%).

Den Einstellbereich der Meßumformer hinsichtlich Meßbereich und Nullpunkt erläutert Bild 14. Die Feineinstellung des Nullpunktes kann von außen ohne öffnen des Gehäusedeckels erfolgen. Der Anschluß eines Anzeigeinstruments ist über eine gesonderte Stopfbuchsenverschraubung möglich. Mit dieser konstruktiven Gestaltung des Gehäuses, insbesondere des Gehäuses und des Anschlußkastens, wird der Schutzgrad IP 65 nach TGL RGW 778 gewährleistet, wodurch eine Freiluftmontage der Geräte gegeben ist. Dieser Tatbestand wird durch den großen zulässigen Temperatureinsatzbereich von −40 °C bis +80 °C unterstützt.

In Tafel 6 sind die wichtigsten Funktionsdaten zusammengefaßt. Einen Überblick über das vielseitige Typensortiment der Halbleitermeßumformer für Überdruck-, Unterdruck- und Differenzdruckmessungen gibt Tafel 7.

3.2. *Aufbau, Funktion und Typenübersicht der Präzisionsdruckwandler „audapas"*

Der Präzisionsdruckwandler wurde in der konstruktiven Ausführung mit und ohne Auswerteelektronik (AWE) entwickelt, wodurch ein vielseitiger Anwendungsbereich in der industriellen Meßtechnik und in der Labormeßtechnik gegeben ist [13] und [14].

Tafel 6. Funktionsdaten der Halbleitermeßumformer

Zulässige Umgebungs- und Meßmedientemperatur:	−40 °C bis +80 °C
Versorgungsnennspannung	24 V GS
Versorgungsspannungsbereich:	
Ex-Typen	12 V bis 24 V GS
alle anderen Typen	12 V bis 33 V GS
maximaler Außenwiderstand	$R_A = \frac{U_B - 12\ V}{0{,}02\ A}$
Explosionsschutz nach TGL 19491/06	(Ex) i_b II c (eigensicher)
Ex-Zulassung der PTB	EEx i_b II c T6 für 65 °C
Überlastgrenze: Druck-MU	1,5 × Nennmeßbereich
Differenz-MU ≦ 630 kPa	bis maximal Nenndruck
NMB > 630 kPa	1,5 × Nennmeßbereich (NMB)
Masse	2,5 ... 6,1 kg

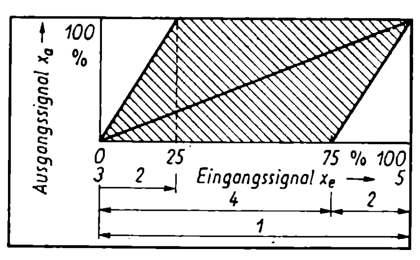


Bild 14. Meß- und Einstellbereiche

1 $(\Delta x_e)_{max}$ maximaler Meßbereich = Nennmeßbereich NMB, 2 $(\Delta x_e)_{min}$ minimaler Meßbereich = 0,25 · $(\Delta x_e)_{max}$, 3 $x_{e\,min}$ Meßbereichsanfangswert, 4 Einstellbereich für den Meßbereichsanfangswert = 0 ... 75% · $x_{e\,max}$, 5 $x_{e\,max}$ Meßbereichsendwert

Tafel 7. Typensortiment der Halbleitermeßumformer

Druckart und Meßbereich:		
Überdruck-Meßumformer	8 Nennmeßbereiche	40 kPa ... 25 MPa
Unterdruck-Meßumformer	2 Nennmeßbereiche	40 und 100 kPa
Differenzdruck-Meßumformer mit Überlastschutz	4 Nennmeßbereiche	40 kPa ... 630 kPa
Differenzdruck-Meßumformer ohne Überlastschutz	2 Nennmeßbereiche	1,6 und 4 MPa
Ausgangssignal:		
Normalausführung	0 ... 20 mA 4 ... 20 mA	gilt auch für Ex-Ausführung
invertierende Ausführung	20 ... 0 mA 20 ... 4 mA	
Meßumformer für Sauerstoff:		alle Nennmeßbereiche bis 4 MPa
maximaler Nenndruck für Differenzdruck-Meßumformer (nicht für Sauerstoff-MU)		PN 40 MPa
maximale Fehlergrenzen der statischen Kennlinie		0,25%; 0,4%; 0,6%; 1,0% (in Abhängigkeit vom Nennmeßbereich)
Materialausführung des Meßwerkes		– Baustahl – Edelstahl (Trennmembran bei allen Typen aus Edelstahl X 5 CrNiMo 18.10)

Tafel 8. Funktionsdaten des Präzisionsdruckwandlers

Zulässige Betriebstemperaturen:		
mit AWE	Einsatztemperaturbereich	−25 °C bis +80 °C
	kompensierter Temperaturbereich	−10 °C bis +60 °C
ohne AWE	Einsatztemperaturbereich	−30 °C bis +80 °C
	kompensierter Temperaturbereich	−10 °C bis +60 °C
Hilfsenergie:		
mit AWE	Nennspannung	$U_{BN} = 24$ V GS
	in Abhängigkeit vom Lastwiderstand R_A gilt:	13 V ≦ U_B ≦ 30 V
	maximaler Lastwiderstand	$R_A \leqq \frac{U_B - 13\ V}{0{,}02\ A}$
ohne AWE	Konstantstrom	zu jedem Gerät wird ein Kalibrierstrom angegeben
Explosionsschutz nach TGL 19491/06:		
mit AWE		(E_x) i_b II c
ohne AWE		In Abhängigkeit von der Hilfsenergiequelle wird die Eigensicherheit des Präzisionsdruckwandlers garantiert
Überlastgrenze:		
für p_N ≦ 1,6 MPa		2fache Meßspanne
für p_N > 1,6 MPa		1,5fache Meßspanne
Masse		100 bis 300 g

Tafel 10. Typische Kennwerte von „audapas"-Druckmeßgeräten des VEB GRW Teltow (betragsmäßige Fehlerangabe)

Kennwert	Meßumformer								Präzisionsdruckwandler			
	100 kPa bis 25 MPa 100%-Wert		40%-Wert		40 kPa 100%-Wert		40%-Wert		mit AWE 40 kPa	mit AWE 100 kPa bis 25 MPa	ohne AWE 40 kPa	ohne AWE 100 kPa bis 25 MPa
Linearitätsfehler F_{Lin}/%	0,1		0,1		0,3		0,3		0,3	0,2	0,3	0,2
Hysteresefehler F_H/%	< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Streuung F_S/%	< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Temperaturfehler des Nullpunktes α_N/%/10 K	−40 bis −20 °C 0,12	−20 bis +80 °C 0,06	−40 bis −20 °C 0,3	−20 bis +80 °C 0,15	−40 bis −20 °C 0,2	−20 bis +80 °C 0,15	−40 bis −20 °C 0,5	−20 bis +80 °C 0,4	−10 bis +60 °C 0,2		−10 bis +60 °C 0,2	
Temperaturfehler des Übertragungsfaktors α_B/%/10 K	−40 bis −20 °C 0,2	−20 bis +80 °C 0,15	−40 bis −20 °C 0,2	−20 bis +80 °C 0,15	−40 bis −20 °C 0,3	−20 bis +80 °C 0,2	−40 bis −20 °C 0,3	−20 bis +80 °C 0,2	−10 bis +60 °C 0,2		−10 bis +60 °C 0,2	
Temperaturdrift des Nullpunktes F_{DN}/%	−40 bis +80 °C 0,15		−40 bis +80 °C 0,4		−40 bis +80 °C 0,15		−40 bis +80 °C 0,4		−10 bis +60 °C 0,4		−10 bis +60 °C 0,4	
Temperaturdrift des Übertragungsfaktors F_{DB}/%	0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		0,1	
statischer Druckeinfluß F_{st}/%/10 MPa	0,08		0,2		0,16		0,4		keine Differenzdruckwandler			
Masse/kg	Druckmeßumformer 2,5 Differenzdruckmeßumformer 6,1								0,3		0,1	
Einfluß des Lastwiderstandes 0 ... 500 Ω in %	0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		—	
Fehler durch mechanische Schwingungen in % FA 500-0, 075/1-6	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	

Das Einsatzgebiet erstreckt sich von der Ablösung der Druckmeßumformer über den Einsatz als p/i-Wandler bis hin zu völlig neuen Anwendungsgebieten bei der Aggregatautomatisierung. Das wird erreicht durch

- stark reduzierte Masse sowie kleine Abmessungen
- geringeren Preis
- erweiterte Möglichkeit der direkten Messung vor Ort.

Im Interesse der o. g. Einsatzkonzeption entfällt gegenüber dem Druckmeßumformer beim Präzisionsdruckwandler die Einstellmöglichkeit für Nullpunkt, Bereich und Dämpfung und es ergibt sich ein verringerter kompensierter Temperatureinsatzbereich. Aufgrund der stark vereinfachten Konstruktion wurden folgende Abmessungen und Massen bei diesen Geräten erreicht (Bild 15):

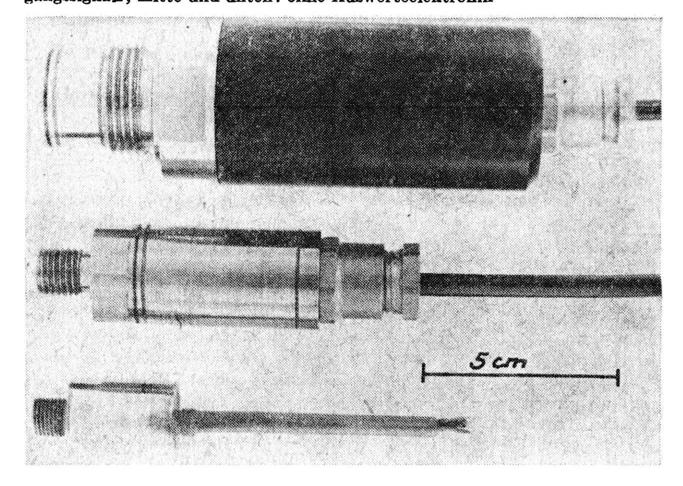
- mit AWE: ∅ 38 mm, Länge 105 mm, Masse 300 g
- ohne AWE: ∅ 28 mm, Länge 45 mm, Masse 100 g.

In der 1. Etappe sind die Präzisionsdruckwandler zunächst für die Messung der Druckgrößen Überdruck und in ausgewählten Bereichen Absolutdruck vorgesehen.

Über den Druckanschluß in Form eines Gewindestutzens gelangt der Meßdruck an die Trennmembran aus korrosionsfestem

Bild 15. Konstruktive Ausführungen von Präzisionsdruckwandlern für die Aggregatautomatisierung, industrielle Meßtechnik und Labormeßtechnik

oben: mit Auswerteelektronik zur Verstärkung und Standardisierung des Ausgangssignals; Mitte und unten: ohne Auswerteelektronik



Tafel 9. Typenübersicht der Präzisionsdruckwandler

Meßbereiche:		
Überdruck	10 Nennmeßbereiche	40 kPa ... 25 MPa
Absolutdruck	1 Nennmeßbereich	200 kPa absolut
Ausgangssignal:		
mit AWE		4 ... 20 mA in Zweileiterschaltung
ohne AWE		(0 ... 200 ± 10) mV in Fünfleiterschaltung, zusätzlicher Masseanschluß
maximale Fehlergrenzen der statischen Kennlinie		0,4%, 0,6%, 1,0%, 1,6% (in Abhängigkeit vom Nennmeßbereich)
Materialausführung		Trennmembran aus Chrom-Nickel-Stahl Gehäuse aus Chrom-Nickel-Stahl, Aluminium und Kunststoff

Material und über die Silikonölfüllung des Druckraumes zum Drucksensor. Die elektrischen Anschlüsse des Sensorelements werden über Bonddrahtbrücken und Stromleitstifte aus dem Druckraum herausgeführt. Auf der nachfolgenden Leiterplatte befinden sich die Kompensationswiderstände zur Temperaturkompensation der Brückennullpunktspannung und des Übertragungsfaktors.

Bei der konstruktiven Ausführung des Präzisionsdruckwandlers ohne AWE kann die kompensierte Meßbrücke in Fünfleiterschaltung durch den Anwender angeschlossen werden. Zur Speisung der Meßbrücke ist gerätespezifisch ein Konstantstrom von etwa $I_0 = (1 \pm 0{,}3)$ mA bei einem maximalen Innenwiderstand der Meßbrücke von $R_i = 6$ kΩ bereitzustellen. Als Ausgangssignal bei Nenndruckbelastung stehen $U_a = (200 \pm 10)$ mV zur Verfügung.

Präzisionsdruckwandler mit Auswerteelektronik haben ein BMSR-Einheitsausgangssignal von 4 bis 20 mA in Zweileitertechnik. Dadurch können diese Geräteausführungen hinsichtlich ihrer elektrischen Anschlußbedingungen direkt mit Überdruck-Meßumformern ausgetauscht werden.

In Tafel 8 sind die wesentlichen Funktionsdaten zusammengefaßt und Tafel 9 enthält eine Übersicht zum Typensortiment.

3.3. Kennwerteübersicht der Halbleitermeßumformer und Präzisionsdruckwandler „audapas“

Die typischen Angaben der beiden auf Basis des piezoresistiven Drucksensors hergestellten Geräteausführungen — Halbleitermeßumformer und Präzisionsdruckwandler auf Halbleiterbasis mit und ohne AWE zur Überdruckmessung — werden in Tafel 10 dargestellt.

Diese Übersicht zeigt, daß mit dem Einsatz des integrierten piezoresistiven Wirkprinzips für die Druckmessung eine neue Gerätequalität geschaffen wurde. Mit der gleichzeitigen Nutzung des Siliziummaterials als Verformungskörper und als integriertes Dehnmeßelement werden sehr gute Stabilitätswerte der Kennlinie erreicht.

Hervorzuheben ist, daß die Fehlerkennwerte nach TGL 27487 für Meßumformer sich auf einen eingestellten Meßbereich von 40% beziehen. Damit liegen die additiven meßbereichsbezogenen Fehler, wie Temperaturkoeffizient des Nullpunktes, Temperaturdrift des Nullpunktes und statischer Druckeinfluß, bei eingestelltem Nennmeßbereich des Meßumformers um den Faktor 2,5 niedriger. Deshalb sind in Tafel 10 alle Fehler für den eingestellten 40%- und 100%-Meßbereich des Meßumformers angegeben. Aufgrund des festen Meßbereiches bei den Präzisionsdruckwandlern gelten die Fehlergrenzen für den Nennmeßbereich der Geräte.

Ausblick

Durch Anwendung des integrierten piezoresistiven Wirkprinzips konnten die material- und arbeitszeitaufwendigen kraftkompensierten Druck- und Differenzdruckmeßumformer durch neuartige Halbleitermeßumformer in den Nennmeßbereichen 40 kPa bis 25 MPa im VEB GRW Teltow abgelöst werden. Gleichzeitig wurde mit Einführung dieser modernen Geräte eine deutliche Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsverbesserung erzielt. Die Nennmeßbereiche 100 kPa bis 25 MPa werden mit einem typischen Gesamtfehler, bezogen auf 10 K, im 40%-Meßbereich von 0,5% bzw. im 100%-Meßbereich von 0,2% serienmäßig stabil produziert.

Ab 1987 wird das Gerätesortiment um Präzisionsdruckwandler mit Spannungs- oder Standardausgangssignal 4 bis 20 mA für die Meßbereiche 40 kPa bis 25 MPa mit einem Gesamtfehler von 0,3% bis 1,6% erweitert. Aufgrund der wesentlich geringeren Abmessungen, des geringeren Preises und gleicher Meßgenauigkeit werden diese Geräte für eine Reihe von Meßaufgaben einen gleichwertigen Ersatz für Druckmeßumformer darstellen.

Für das gesamte Meßumformersortiment ist der Kernkraftwerkseinsatz vorgesehen.

Zur Speisung der Geräte und deren Signalverarbeitung werden spezielle Zusatzgeräte angeboten, deren Sortiment ständig erweitert wird.

Der Schwerpunkt der laufenden Entwicklungsarbeiten besteht in der Sortimentserweiterung für Meßumformer und Präzisionsdruckwandler in den unteren Nennmeßbereichen von 16 kPa bis 400 kPa. Voraussetzung zur Lösung dieser Schwerpunktaufgabe bildet die weitere Stabilitätserhöhung des Sensorchips. Gemeinsam mit der Halbleiterindustrie sind dabei folgende Einzelaufgaben zu lösen:

- Optimierung des lateralen Schichtaufbaus des Sensorchips und Anwendung qualitätsverbesserter Zyklus-1-Technologien
- Vervollkommnung der Abdünn- und Verbindungstechnologie von Chip und Substrat
- Einsatz neuartiger Meßwiderstandsstrukturen mit modifizierten Verformungskörpergeometrien
- Verbesserung der Konstruktion des Sensors und des Gesamtgerätes.

Eine weitere wesentliche Aufgabe besteht in der Entwicklung von intelligenten Meßumformern, d. h. im Einsatz von Einchipmikrorechnern direkt im Meßgerät. Mit Hilfe des Rechners erfolgt die Korrektur der systematischen Fehler, die Fehlerdiagnose des Gerätes und die Verarbeitung des Sensorsignals zu einem störsicheren analogen oder digitalen Ausgangssignal. Diese Geräte werden geringere Fehler und eine wesentlich größere Meßbereichsuntersetzung als die jetzigen Geräte aufweisen.

msr 8574

Anwendung der diskreten Theorie der ratengekoppelten Systeme in der Regelungstechnik

1. Grundzüge der diskreten Theorie der ratengekoppelten Systeme

„Ratenkopplung" ist ein funktionelles Prinzip, nach dem im Rahmen einer komplexen Wechselwirkung im kontinuierlichen Fall jeder elementare Block durch einen Modul

$$\frac{dx}{dt} = x \cdot f(y_1, y_2, \dots, y_k)$$

beschrieben wird. Dabei sind $y_1, y_2, \dots, y_k$ die Eingänge und x der Ausgang dieses Blocks.

Durch $f(y_1, \dots, y_k)$ wird die Koaktion der verschiedenen Eingänge y_i bestimmt.

Die Methoden der diskreten Theorie ratengekoppelter Systeme gründen sich auf eine umfassende Anwendung der Zinseszinsrechnung. Ratenkopplung wird dabei neu definiert, indem nunmehr x'/x die gesteuerte Größe ist, mit x und x' als aufeinanderfolgenden Iterationen.

Die Grundideen sollen hier so weit dargelegt werden, wie es für das Verständnis der Anwendungsvorschläge in der Regelungstechnik erforderlich ist.

Wenn ein Kapital K innerhalb eines Jahres n-mal verzinseszinst wird, so hat man am Ende des betreffenden Rechnungsjahres offenbar einen Betrag von

$$K \cdot (1 + p/n)^n .$$

Dabei ist p der vereinbarte Zinsfuß, bezogen auf jeweils ein Jahr. Offenbar hat $1/n$ dann den Charakter einer Schrittweite. Die Potenz entspricht dann einer mehrfachen Iteration der Rate

$$(1 + p/n) .$$

Interessiert man sich für den Effekt der einmaligen Iteration, so tritt dieser Ratenfaktor genau einmal in Erscheinung. Läßt man dabei eine beliebige Schrittweite D zu und geht vom konstanten Zinsfuß p ab zu einem gesteuerten Zinsfuß y, so nimmt der Ratenfaktor die folgende Form an

$$(1 + D \cdot y) .$$

Bezeichnet man das alte Kapital mit x und das neue Kapital nach einmaliger Iteration mit x', so ergibt sich folgender Ursache-Wirkung-Zusammenhang

$$x' = x \cdot (1 + D \cdot y) .$$

Dies soll der Grundmodul für die aufzubauende diskrete Theorie ratengekoppelter Systeme sein. Er spielt die gleiche Rolle wie der Exponentialintegrator

$$dx/dt = K \cdot x \cdot y$$

in der kontinuierlichen Theorie ratengekoppelter Systeme (siehe [1] und [2]).

Bezüglich der kontinuierlichen Rate

$$d\ln x/dt$$

sind dort alle Systemwechselwirkungen durch Linearkombinationen von Zustandsgrößen und Eingangsgrößen beschrieben. In der diskreten Theorie ratengekoppelter Systeme ist dies ganz ähnlich, nur daß an die Stelle einer Summe mit positiven Summanden ein Produkt mit einem Faktor

$$(1 + G \cdot y)$$

und an die Stelle der Differenz mit positivem Subtrahenden ein Quotient

$$1/(1 + G \cdot y)$$

treten soll. Die betreffende Einwirkung y soll nicht negativ und G positiv sein.

Mit dieser einfachen Regel lassen sich beliebige gekoppelte Systeme beschreiben. Damit ist dies ein universelles diskretes Modellierungskonzept für ratengekoppelte Systeme.

Nun soll gemäß dieser einfachen Übersetzungsregel untersucht werden, welches diskrete Analogon einem System zugeordnet werden kann, das durch die kontinuierlichen Lotka-Volterra-Gleichungen beschrieben wird.

Dazu werden in der kontinuierlichen Beschreibung

$$d\ln(x_i)/dt = \sum_j (G_{ij} \cdot x_j)$$

die kontinuierlichen Raten $d\ln(x_i)/dt$ durch die diskreten Raten x_i'/x_i ersetzt.

x_j ist für x_i eine Beute, wenn $G_{ij} > 0$ ist. Dem entspricht ein Produktterm

$$(1 + g_{ij} \cdot x_j) .$$

Dabei enthält g_{ij} gegebenenfalls noch einen Schrittweitenfaktor. x_j ist ein Räuber an x_i, wenn $G_{ij} < 0$ ist. Dem entspricht ein Quotientfaktorterm

$$1/(1 - g_{ij} \cdot x_j) .$$

Damit findet die kontinuierliche Lotka-Volterra-Gleichung folgendes diskrete Analogon

$$x_i' = x_i \cdot \prod_j (1 + g_{ij} \cdot x_j, g_{ij} > 0) / \prod_j (1 - g_{ij} \cdot x_j, g_{ij} < 0) .$$

Es sei angemerkt, daß es sich hierbei um ein neues diskretes Modellierungskonzept für solche Räuber-Beute-Wechselwirkungen handelt und nicht etwa um eine Methode der approximativen Beschreibung des kontinuierlichen Verhaltens durch ein diskretes Ersatzmodell, obwohl vielfach eine solche Forderung auch gerechtfertigt sein mag. Hierzu bedarf es jedoch dann spezifischer Parameteranpassungsstrategien, wie $g_{ij} = G_{ij} \cdot D$ mit einer kleinen Schrittweite D.

2. Beispiele für die Beschreibung bekannter kontinuierlicher Systeme durch ein entsprechendes Modell aus der Theorie der diskreten ratengekoppelten Systeme

2.1. *Diskretes Räuber-Beute-Modell*

Hier geht es um ein diskretes Analogon zum bekannten einfachsten Räuber-Beute-System im Sinne von *Verhulst* (1841)

$$dy/dt = y \cdot (A - k \cdot x) ,$$

$$dx/dt = x \cdot (l \cdot y - B) .$$

y ist die Beutepopulation und x die Räuberpopulation.

Die Beute hat im ungestörten Fall (keine Räuber, $x = 0$) die Wachstumsrate A, die den vorhandenen Ressourcen entspricht. Mit der Freßrate k wird durch die Räuber x die Beute dezimiert und es entsteht so die Wachstumsrate $l \cdot y$ für die Räuberpopulation x (gibt es viel Beute y, so ist dementsprechend die Wachstumsrate der Räuber x groß).

Hinzu kommt eine bestimmte Sterberate B für die Räuberpopulation x. Nach der Übersetzungsregel entspricht A einer Verzinsungsrate für x und B einer Schwundrate von x.
Damit ergibt sich das folgende diskrete Ersatzmodell für ein solches Verhalten

$$y' = y \cdot (1 + A)/(1 + k \cdot x),$$

$$x' = x \cdot (1 + l \cdot y)/(1 + B).$$

Aus anschaulichen Gründen wurden für entsprechende Parameter wieder die gleichen Bezeichnungen gewählt. Es ist aber zu beachten, daß die quantitativen Werte gegenüber dem kontinuierlichen Modell anders sind und auch eine Schrittweiteninformation D normalerweise proportional in die Parameter des diskreten Modells eingeht.

2.2. *Diskretes Analogon des kontinuierlichen Masse-Feder-Dämpfungs-Systems (MFD-System)*

Besonders wichtig ist es, darauf hinzuweisen, daß prinzipiell auch alle linearen Systeme einer Modellierung im Rahmen der diskreten Theorie ratengekoppelter Systeme zugänglich sind. Der Weg dazu ist nicht eindeutig, jedoch empfiehlt sich immer die folgende Vorgehensweise. Man transformiert das gegebene System von Differentialgleichungen in die Lotka-Volterra-Darstellung, die eine Standardüberführung in das diskrete ratengekoppelte System gestattet oder wenigstens in eine der Lotka-Volterra-Beschreibung nahekommende Darstellung, wo die Ableitungen 1. Ordnung der linken Seite des Differentialgleichungssystems in logarithmische Ableitungen der Zustandsvariablen verwandelt worden sind. Dort ist dann in der Regel ein unmittelbarer Übergang in die Iterationsform möglich.
Für den Fall des kontinuierlichen MFD-Systems kann ein solches Modell auf dem folgenden Wege gewonnen werden.

$$dx/dt = x_1,$$

$$dx_1/dt = K \cdot y - Dä \cdot x_1 - C \cdot x$$

ist die Zustandsbeschreibung des kontinuierlichen MFD-Systems. Für die Untersuchung von Einschaltvorgängen und unter der Voraussetzung, daß dabei x stets größer als Null bleibt, kann man die folgende reguläre Ratenbeschreibung verwenden.

$$d\ln x/dt = x_1/x,$$

$$d\ln x_1/dt = K \cdot y/x_1 - Dä - C \cdot x/x_1.$$

Daraus erhält man das folgende diskrete Modell

$$x' = x \cdot (1 + a \cdot x_1/x),$$

$$x_1' = x_1 \cdot (1 + K \cdot y/x_1)/(1 + Dä)/(1 + C \cdot x/x_1).$$

Nach den Faktorisierungsregeln ist dieses Modell jedoch gegebenenfalls bei Vorzeichenwechsel von x_1 zu modifizieren. Auf diese Feinheit soll hier zunächst nicht eingegangen werden.

2.3. *Diskretes Evolon als Grundlage für diskrete hyperlogistische Regler*

Für das kontinuierliche Evolon wurden zwei wesentliche Grundstrukturen vorgeschlagen: die hyperlogistische Differentialgleichung

$$dx/dt = K \cdot x^k \cdot (B^w - x^w)^l$$

und die gemäß einer Lotka-Volterra-Darstellung entfaltete Form

$$dx/dt = K \cdot x \cdot x_1,$$

$$dx_1/dt = K \cdot x_1 \cdot ((k - 1) \cdot x_1 - w \cdot l \cdot x_2),$$

$$dx_2/dt = K \cdot x_2 \cdot ((k + w - 1) \cdot x_1 - w \cdot (l - 1) \cdot x_2).$$

Hierbei beschreibt (x_1, x_2) offenbar ein autokatalytisches Räuber-Beute-System.
Hinter dem „Evolon" steht eine in [1] detailliert erläuterte Systemphilosophie. Es ist ein Konzept zur Modellierung s-förmiger Wachstumsstufen (Sigmoide) in hochaggregierten verkoppelten Systemen.
Entsprechend den Erfahrungen zahlreicher Datenanalysen hat sich der Ansatz mit der hyperlogistischen Differentialgleichung gut bewährt. In diesem beschreibt der Triebkraftanteil x^k das kooperative Wachstum der Anfangsphase und $(B^w - x^w)^l$ den Bremseffekt in der Sättigungsphase.
Nach den oben entwickelten Überführungsregeln ergeben sich unmittelbar die folgenden entsprechenden diskreten Evolon-Modelle

$$x' = x \cdot (1 + K) \cdot (1 + a \cdot x)^{k-1}/(1 + b \cdot x^w)^l$$

bzw.

$$x' = x \cdot (1 + K) \cdot (1 + a \cdot x_1),$$

$$x_1' = x_1 \cdot (1 + K) \cdot (1 + (k - 1) \cdot x_1)/(1 + w \cdot l \cdot x_2),$$

$$x_2' = x_2 \cdot (1 + K) \cdot (1 + (k - 1 + w) \cdot x_1)/(1 + w \times (l - 1) \cdot x_2).$$

Entsprechend der Methodik sollten dabei $k \geqq 1$ und $l \geqq 1$ sein, sonst müssen bestimmte Zähler in den Nenner und umgekehrt. Dieses diskrete Evolon-Konzept kann für verschiedene Formen nichtlinearer Basisregler als Alternative zum PID-Regler genutzt werden. Einige dieser Möglichkeiten werden im folgenden Abschnitt angedeutet.

3. Diskontinuierliche Basisregler nach dem Evolon-Prinzip

Um die Tragfähigkeit des Konzepts der diskreten ratengekoppelten Systeme zu testen, wurde eine Reihe von Reglerkonzepten nach dem Evolon-Prinzip studiert. Diese haben alle zum Erfolg geführt. Resultate von Simulationsrechnungen für das Verhalten solcher Regler an einer MFD-Strecke, dem diskreten Analogon bzw. einer Evolon-Regelstrecke liegen vor.
Im Überblick soll gezeigt werden, welche Realisierungsmöglichkeiten untersucht wurden. Darüber hinaus sind zahlreiche Realisierungen denkbar.
Bemerkenswert ist die Tatsache, daß das diskrete Evolon die Schwierigkeiten, die beim kontinuierlichen Evolon dadurch auftraten, daß Argumente von Potenzfunktionen negativ wurden, völlig vermeidet.
Zunächst wurde an einem kontinuierlichen MFD-System ein diskreter Evolon-Regler untersucht, und zwar sowohl in seiner kompakten Form als auch in der entfalteten Lotka-Volterra-Form. Sodann wurde auch das kontinuierliche MFD-System durch ein diskretes Iterationsmodell entsprechend der Theorie ratengekoppelter Systeme ersetzt und mit einem Evolon-Regler in kompakter Form verbunden.
Schließlich wurde die Regelstrecke, d. h. das MFD-System, durch eine Evolon-Regelstrecke ersetzt und die Aufgabenstellung einer Festwertregelung beibehalten. An dieser Regelstrecke wurden der kompakte und der entfaltete Evolon-Regler erprobt. Wegen der dabei vorhandenen zusätzlichen Steuermöglichkeiten, die noch nicht voll ausgeschöpft wurden, ergaben sich im zweiten Fall sehr interessante Resultate, vor allem eine hohe Robustheit gegenüber starken Sollwertänderungen.
BASIC-Programme zur Simulation der hier verbal beschriebenen Systeme und Regelkreise können von den Autoren bezogen werden.

Literatur

[1] *Peschel, M.; Mende, W.:* Predator-Prey Models—Do We Live in a Volterra World? Berlin: Akademie-Verlag 1986, Wien: Springer-Verlag 1986.
[2] *Volterra, V.:* Lecons sur la theorie mathematique de la lutte pour la vie. Paris: Gauthier-Villars et Cie. 1931.

Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Peschel*, AdW der DDR, Zentrum für Wissenschaftlichen Gerätebau, Dipl.-Math. *W. Mende*, AdW der DDR, Institut für Geografie und Geoökologie, und Doz. Dr. *F. Breitenecker*, TU Wien, Institut für Technische Mathematik.

msr 8022

Professor Winfried Oppelt 75 Jahre

Am 5. Juni dieses Jahres beging Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. *Winfried Oppelt* seinen 75. Geburtstag. Seine außerordentlichen Verdienste bei der Herausbildung der Regelungstechnik zu einer neuen wissenschaftlichen Disziplin sind insbesondere durch sein seit 1952 in vielen Auflagen erschienenes „Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge" (mit 1947 und 1949 erschienenen kleineren Vorläufern) und durch den Aufbau des ersten Instituts für Regelungstechnik in der BRD an der TH Darmstadt begründet. 1956 wurde er dorthin berufen, nachdem er schon einige Jahre im Lehrauftrag Vorlesungen gehalten hatte. Seine Ausstrahlung reicht dabei weit über die Bundesrepublik Deutschland hinaus. Sein inzwischen auf nahezu 800 Seiten angewachsenes „Kleines Handbuch" wurde in die französische, tschechische, polnische, russische, rumänische und ungarische Sprache übersetzt, die beiden Vorläuferbücher in die japanische. Er erhielt hohe Auszeichnungen in der BRD, in den USA und in England.

Der Unterzeichnete kann aus zahlreichen Begegnungen mit Prof. *Oppelt* seit 1957 bestätigen, daß ihm die Verbindung zu den Regelungstechnikern in der DDR immer ein ganz besonderes Anliegen war. Er nahm 1957 die Verbindung zu dem ebenfalls neu gegründeten Institut für Regelungstechnik an der TH Dresden und zu der damaligen Arbeitsstelle für Regelungs- und Steuerungstechnik der Akademie der Wissenschaften in Dresden (jetzt Teil des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse), die beide damals unter der Leitung von Prof. *H. Kindler* standen, auf, und besuchte mit Mitarbeitern seit 1960 nahezu alle Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquien zur Regelungstechnik an der TH Ilmenau. Nicht wenige dieser Mitarbeiter leiten heute Institute an Technischen Universitäten der Bundesrepublik, so in Hannover, München, Karlsruhe, Stuttgart, und führen — ebenso wie die TH Darmstadt — den wissenschaftlichen Austausch fort. Viele der DDR-Regelungstechniker der Generation nach dem Kriege werden gern bekennen, daß ihr Verständnis der Regelungstechnik von dem Kleinen Handbuch, das auch im VEB Verlag Technik in Lizenz erschien, maßgebend mitgeprägt wurde.

Der Lebensweg des Jubilars wurde anläßlich seines 70. Geburtstages im Heft 7 (1982) der msr von Prof. *H. Kindler* gewürdigt. Deshalb soll im folgenden einigen Ursachen seiner großen Ausstrahlungskraft nachgegangen werden. Fachlich ist das die besondere Begabung, komplexe Zusammenhänge zu durchdringen, einfach und klar wiederzugeben und systematisch zu ordnen.

Professor *Oppelt* hat wesentlich dazu beigetragen, die Regelungstechnik von einer zu engen Bindung an bestimmte technologische Fachrichtungen zu lösen und zu einer eigenständigen systemtheoretischen Disziplin zu entwickeln, die in interdisziplinärer Zusammenarbeit nicht nur auf technische, sondern auch auf biologische, ökonomische u. a. Systeme und Probleme gleichermaßen anwendbar ist — ganz im Sinne der Kybernetik. Er hat sich auch stets sowohl technischen (insbesondere den ihn als begeistertem Flieger interessierenden Flugregelungen) als auch nichttechnischen Regelungen zugewendet. Für letzteres sei sein zusammen mit *G. Vossius* herausgegebenes Buch „Der Mensch als Regler" genannt (1970 im VEB Verlag Technik).

Er hat diese von den Begriffen System und Informationsübertragung und -verarbeitung geprägte Regelungstheorie immer genügend praxisnah entwickelt und dabei ebenso die Gefahr des anderen Extrems vermieden, statt Ingenieuren praxisferne Pseudomathematiker auszubilden. In diesem Zusammenhang seien auch seine Bemühungen gewürdigt, die neuen regelungstechnischen/systemtheoretischen Begriffe in verständlicher deutscher Sprache zu formulieren. Wenn wir heute auf dem Gebiet der Kybernetik nicht die Überfremdung der deutschen Sprache wie auf dem der Informatik/Computertechnik haben, so ist das sein ganz besonderes Verdienst.

Seine enorme Ausstrahlung und Integrationsfähigkeit wird aber neben fachlicher Kompetenz von besonderen menschlichen Eigenschaften bewirkt. An erster Stelle sei seine außerordentliche Menschenfreundlichkeit genannt, danach sein unbeugsamer Wille. Dieser Wille hat ihm wohl geholfen, trotz bitterer familärer Verluste und gesundheitlicher Probleme auch nach seiner Emeritierung beharrlich und mit der ihm eigenen Kreativität alte und neue Ziele anzugehen. Diese Arbeiten haben einen Niederschlag in einem Büchlein „Über das Menschenbild des Ingenieurs" (F. Steiner Verlag, Stuttgart 1984) gefunden, in dem eine kybernetische Modellbildung physischer, kognitiver und psychischer Vorgänge im Menschen in Angriff genommen wird. Beeindruckend ist wieder die saubere, vereinfachende und klare Darstellung. Als der Unterzeichnete ihn vor einem Jahr in seinem Heim in Darmstadt besuchen konnte, schrieb er an einem Personalcomputer mit Textverarbeitung an einem Buch ähnlichen Inhalts. Zum besseren Verständnis dieser Prozesse hatte er die Selbsthypnose erlernt. Diese Kühnheit und Kreativität sollte für junge Wissenschaftler Vorbild sein.

Mögen ihm noch viele Jahre ausreichender Gesundheit geschenkt sein. Möge er uns das Tor zu den für die künftige Entwicklung der Wissenschaft bedeutsamen nichtstofflichen und nichtenergetischen Phänomenen mit Erfolg ein wenig zu öffnen helfen. Diese und viele andere gute Wünsche bringen ihm zahlreiche Fachkollegen der DDR und die Mitarbeiter der Redaktion msr dar, die sich ihm besonders verbunden wissen.

Karl Reinisch

Gerda Schreiber 60 Jahre

Am 1. Juli 1987 beging unsere langjährige und verdienstvolle redaktionelle Mitarbeiterin, Frau *Gerda Schreiber*, ihren 60. Geburtstag. Frau *Schreiber*, eine echte Berlinerin voller Elan und Schlagfertigkeit, konnte bereits im vergangenen Jahr ihr 35jähriges Verlagsjubiläum feiern. Dieses auch im VEB Verlag Technik seltene Jubiläum zeugt von ihrer Stetigkeit und ihrer pflichtbewußten Einstellung zur Arbeit.

Gerda Schreiber durchlief eine solide Ausbildung als kaufmännische Angestellte, die ihr das entsprechende Rüstzeug auch für ihre 1951 begonnene Tätigkeit im damals noch jungen VEB Verlag Technik vermittelte, über den sie heute manch Interessantes zu berichten weiß. Ihr Wissen und Können hatte sie schon in mehreren Redaktionen des Verlages eingebracht, bevor sie Ende der 60er Jahre als redaktionelle Mitarbeiterin in die Redaktion „messen · steuern · regeln" kam. Diese Tätigkeit sollte ihr weiteres berufliches Leben bestimmen. Mit Akribie und großem Engagement erfüllt sie ihre umfangreichen Arbeiten in der Redaktion und erledigt eigenverantwortlich wichtige Aufgaben.

Viele unserer Autoren und ganz besonders Rezensenten unserer Rubrik „Buchbesprechungen" werden dies als sehr angenehm empfunden haben. Wer darüber hinaus um ihr persönlich hartes Schicksal weiß, wird für diese trotzdem stets ausgeglichene Frau Bewunderung hegen.

Wenn *Gerda Schreiber* am Ende dieses Jahres ihre Absicht wahr macht und den Verlag verläßt, um ihren wohlverdienten Ruhestand zu genießen, wird dies eine Lücke in unserer Redaktion hinterlassen, die nicht leicht zu schließen ist.

Wir wünschen ihr für ihr weiteres Leben viel Gesundheit, Tatkraft und Lebensfreude und sagen ihr für alles Bisherige herzlichst Dank. *Dietrich Werner*



Valentin Ferner verstorben

Am 6. Februar 1987 starb im Alter von 74 Jahren *Valentin Ferner*. Mit ihm ging ein Pionier der ersten Stunden der DDR auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik von uns. Mit ihm verlieren wir aber auch einen genialen Ingenieur, der u. a. mit der ausgeprägten Begabung ausgestattet war, komplizierte Zusammenhänge anschaulich und verständlich darzustellen und daraus klare Aufgabenstellungen abzuleiten. Diese Eigenschaften und Fähigkeiten waren der Grundstein für sein außerordentlich erfolgreiches Wirken im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, dem er seit 1949 angehörte und wo er 1954 als „Verdienter Techniker des Volkes" geehrt wurde. Mit seinem Namen verbindet sich aber vor allem das unter seiner Leitung entwickelte, im Niederdruckbereich arbeitende, pneumatische Regelungssystem UNALOG, das im nationalen und internationalen Rahmen außerordentliche Beachtung fand. Für diese Leistungen wurden *Valentin Ferner* und sein Kollektiv mit dem Nationalpreis ausgezeichnet. Mit dieser Arbeit avancierte er auch zu einem national wie international sehr geachteten Fachmann. Beim Vorhaben UNALOG war er nicht nur für die Entwicklung und Konstruktion, sondern auch für die Produktionseinführung und die ersten Industrieeinsätze dieses Systems verantwortlich. Er zeichnete sich dabei als Allroundingenieur bester Güte aus.

Für seine erfolgreiche Tätigkeit sprechen darüber hinaus über 70 von ihm angemeldete Patente, zahlreiche Zeitschriftenartikel und seine außerordentlich verständlich dargestellten Bücher „Anschauliche Regelungstechnik" und „Luft hilft automatisieren". Mit seinen Publikationen und der Tätigkeit im Rahmen der KDT förderte er auch engagiert den Einstieg vieler Jugendlicher in die Automatisierungstechnik.

Vielseitige Begabungen und Interessen bescherten *Valentin Ferner* auch nach seinem Ausscheiden aus dem Arbeitsleben weiterhin schöpferische und interessante Jahre.

Die ihn kannten werden *Valentin Ferner* in die Gruppe derer einordnen, die bis Mitte der 70er Jahre die Geschichte der Automatisierungstechnik in der DDR wesentlich mitbestimmt haben.

Seine ehemaligen Mitarbeiter und seine Fachkollegen werden ihm ein ehrendes Andenken bewahren.

Heinz Töpfer

Zu Ihrer Information!

Im VEB Verlag Technik Berlin erscheinen neben der „msr" folgende Fachzeitschriften der Elektrotechnik/Elektronik und angrenzender Gebiete: Nachrichtentechnik/Elektronik; Elektrie; radio-fernsehen-elektronik; Elektropraktiker und Mikroprozessortechnik.

Bitte nutzen Sie auch diese Informationsquellen.

Leipziger Frühjahrsmesse 1987 — Ein Rückblick

Die diesjährige Leipziger Frühjahrsmesse offenbarte nachdrücklich den revolutionären Wandel auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik. Bis in Randgebiete hinein wurden Neuentwicklungen präsentiert, die von den weitreichenden Möglichkeiten der Mikroelektronik geprägt sind. Die Informationsdichte hat durch die bereits zum technischen Alltag gehörende Bildschirmtechnik stark zugenommen, ohne daß die Übersichtlichkeit eingeschränkt wurde. Feldmultiplexer und Bussysteme sind, insbesondere bei Anlagen mit mehr als 100 Meßstellen, eindeutig im Kommen. Darüber hinaus macht die Lichtleitertechnik große Fortschritte, was starke Rückwirkungen auf die Meßwertverarbeitung hat. Durch den Mikroprozessoreinsatz haben sich bei sprunghaft erweiterten Informationsverarbeitungsmöglichkeiten die Gerätevolumina wesentlich verringert. Dieser Umbruch, der unaufhaltsam vorangeht, bedingt neue Aspekte in bezug auf die Kommunikation zwischen Mensch und Gerät und führt durch die Möglichkeit der Selbstüberwachung zu größerer Sicherheit und verspricht ökonomische Lösungen.

Betriebsmeßtechnik

Auf dem Gebiet der Betriebsmeßtechnik lassen sich diese Tendenzen bei einer Vielzahl von Neuentwicklungen erkennen.

VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow (KAAB) bot im Rahmen des Flüssigkeitszählerprogrammes einen Wärmemengenzähler an, der für den ökonomischen Energieeinsatz Bedeutung hat.

VEB Junkalor Dessau (KEAW) offerierte Mengenmesser nach dem Wirbelfrequenzverfahren. International wurden Wirbelfrequenzzähler mit Nennweiten DN 50 bis 300, Nenndrücken bis zu 4,0 MPa und Medientemperaturen zwischen —40 °C und 300 °C gezeigt. Mit zugehörigen Mikrorechnereinheiten kann der Volumendurchfluß in einen Massendurchfluß umgerechnet werden. Die Geräte sind auch für Satt- und überhitzten Dampf einsetzbar.

Energoinvest Sarajewo (SFRJ) bot Turbinendurchflußmesser verschiedener Typenreihen an. Die Nennweiten lagen beim ND 1,6 MPa zwischen 15 und 200 mm, beim ND 40 MPa zwischen 15 und 32 mm. Auch hier wurden Gerätekombinationen in Form von Wärmemengenmessern gezeigt. Interessant war, daß der gleiche Betrieb unter anderen Prüfvorrichtungen eine doppelte Molchprüfschleife zeigte, die sowohl stationär als auch mobil gebaut wird. Es gibt Prüfschleifen zwischen 4″ und 20″, Druck bis 4 MPa. Die 16″-Prüfschleife verfügt über einen Volumendurchsatz von 550 m³/h.

Neu im Angebot der magnetischen Durchflußmesser dürfte ein eichfähiger Durchflußmesser sein, der unter der Typbezeichnung **MASTERMAG** von *Endress + Hauser* (BRD) gezeigt wurde. Das Gerät ist mobil und stationär einsetzbar. Es verfügt über einen Mikroprozessor zur Aufdeckung von Fehlern, eine automatische Temperaturkompensation und ein programmierfähiges Dialogsystem (Fehlergrenzen 0,3% v. M.).

Bei den magnetischen Durchflußmessern, die als Betriebsgerät angeboten werden, sind Hartgummi- und PTFE-Auskleidung Standard. Die Elektroden sind zum Teil aus Tantal gefertigt. Der Mikroprozessor hat auch hier zur Erweiterung der Meßmöglichkeiten beigetragen. Meßbereiche und Ausgangssignal sind freiprogrammierbar. Meßbereich 20:1 bei Genauigkeitsklassen von 1% v. M. sind Stand der Technik. In diesem Zusammenhang ist auf Geber hinzuweisen, die auf der Basis des magnetisch-induktiven Meßprinzips in Form von Sonden angeboten werden. Diese Sonden, die seitlich in die Rohrleitungen einbaubar sind, können als Durchflußwächter sowie als Durchflußmeter eingesetzt werden. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit beträgt 10 m/s, der Nenndruck bis 6,4 MPa. Die Mindestleitfähigkeit des strömenden Stoffes wird mit 5 μS/cm angegeben. Der Kostenaufwand ist relativ niedrig.

Eine interessante Ergänzung der Mengenmeßgeräte dürften **Massedurchflußmesser des Systems RHEONIK** von *Bopp & Reuther* (BRD) sein. Diese Geräte sind dort einsetzbar, wo die herkömmliche Volumenmeßtechnik versagt. Die Messung ist weitgehend unabhängig von Dichte, Druck, Gasblasen, Strömungsprofil und Pulsationen niedriger Frequenz. Zwei parallele, vom Medium durchströmte Rohrschlangen in 2 übereinander angeordneten Ebenen einer schwingfähigen Halterung werden elektromagnetisch zu gegenphasigen Schwingungen angeregt. Durch die Strömung in den Rohrschleifen ergibt sich eine Phasenverschiebung, die als Maß für die fließende Masse dient.

Nach den ersten Ansätzen in den vergangenen Jahren gewinnen Durchsatzmeßverfahren für Schüttgüter an Bedeutung. Es werden Meßeinrichtungen für pneumatisch geförderte und im freien Fall zugeführte Schüttgüter angeboten. Für pneumatisch geförderte Schüttgüter offerierte *Endress + Hauser* ein berührungslos arbeitendes Gerät mit der Bezeichnung **GRANUCOR**. Es verfügt über einen Geschwindigkeitsaufnehmer und einen kapazitiven Aufnehmer für die Konzentration. Die in einem Korrelator mit Mikroprozessor verknüpften Signale liefern den Meßwert des Massendurchflusses. Im zweiten Fall dienen Prallplatten als Sensoren. Das Ausgangssignal eines in der Meßkette befindlichen Durchsatzmeßgerätes kann auf externe Anzeigegeräte, Regelgeräte oder Zähler aufgeschaltet werden.

Auf dem Gebiet der Temperaturmeßtechnik wird das klassische Widerstandthermometer zunehmend von Meßwiderständen in Dünn- oder Dickfilmtechnik verdrängt. Ein Beispiel hierfür ist ein im Angebot der VR Polen gezeigtes **Nickel-Phosphor-Widerstandsthermometer, Typ Ni-P 100**, bei dem im Siebdruckverfahren als Leiternetz eine Ni-P-Masse auf ein Keramikplättchen aufgebraucht ist. Dieses Thermometer wird für die Bereiche —150 °C bis 180 °C und —200 °C bis 300 °C angeboten.

Eine interessante Lösung zur Bestimmung der Oberflächentemperatur wurde vom *VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg (KEAW)* in Zusammenarbeit mit der *TU Dresden* entwickelt. Das **Multispektralpyrometer mit Emissionsintelligenz** kompensiert den durch den unbekannten Emissionsgrad bzw. dessen Änderung hervorgerufenen Temperaturfehler. Es besteht aus einem Pyrometerkopf, der die Strahlung des Meßobjekts in 6 verschiedenen Spektralbereichen simultan erfaßt, und einem Mikrorechner, der den Meßkopf steuert und der Signalauswertung dient. In einem Teach-in-Zyklus erfolgt die Anpassung an die spezielle Meßaufgabe.

Die UdSSR zeigte zwei Geräte zur Bestimmung der Temperatur in Metallschmelzen.

Das eine Gerät aus dem *Forschungsinstitut für Gießtechnik* in Kiew besteht aus einem Lichtleiter, einem pyrometrischen Geber, Sekundärmeßwandler und Folgegeräten. Es gestattet erstmalig eine laufende Überwachung der Temperaturführung bei induktiven Schmelzprozessen. Die Anzeige erfolgt digital. Das zweite Gerät vom *Gluschkow-Institut für Kybernetik* verwendet ein kurzzeitig in die Metallschmelze eingetauchtes Thermoelement. Der Meßbereich wird mit 1000 °C bis 2000 °C angegeben, der Meßfehler mit 1 K. Auch hier wird mit digitaler Anzeige gearbeitet.

Abschließend sei noch auf einen vom *VEB Geräte- und Regler-Werke Leipzig* angebotenen selektiven **Flammenwächter F 200-2** für den Einsatz an Mehrbrennerfeuerungen hingewiesen. Das Gerät besteht aus einem optischen Flammenfühler und einem Flammenbewerter. Die Signalverarbeitung erfolgt durch-

gängig digital. Das Gerät verfügt über eine Eigenüberwachung.
Auf dem Gebiet der Füllstandsmessung wurden neben den herkömmlichen Einrichtungen 2 Exponate gezeigt, die von der herkömmlichen Technik abweichen. So offerierte die Ungarische VR die **Füllstandsanzeige OMÜV 09 Lj**, die über eine Sichtanzeige aus Zylindern verfügt, die von einem im Schwimmer befindlichen Magneten gekippt werden. Aufgrund unterschiedlicher Färbung im ungekippten und im gekippten Zustand kann der Füllstand abgelesen werden. Die maximale Füllstandshöhe beträgt 6 m. Geräte dieser Art können mit Ferngebern oder elektronischen Steuerungen gekoppelt werden.
Beim zweiten Exponat von *YARWAY* (BRD) wird der Füllstand zweifarbig angezeigt. Die Anzeige wird durch Lichtbrechung erzeugt. Zu diesem Zweck befinden sich an einem Standrohr übereinander angeordnete Sichtgläser, in die optische Elemente integriert sind. Dort, wo sich die Flüssigkeit befindet, leuchten die Sichtgläser grün, im Dampfraum rot. Diese Standanzeiger sind für Drücke über 5 MPa vorgesehen.
Das große Angebot auf dem Gebiet der Analysentechnik unterstreicht das wachsende Bedürfnis nach einer weitreichenderen Qualitätskontrolle.
Die DDR war unter anderem mit einer Weiterentwicklung des Gasanalysators **INFRALYT** (*VEB Junkalor Dessau*) vertreten. Das Gerät zeichnet sich durch vereinfachte Bedienung, geringe Masse, lineares Ausgangssignal und Grenzwertsignalisation aus. Dazu wurde ein neuentwickelter **Peltier-Gaskühler PGK 2** vorgestellt, der als wertvolle Ergänzung des Analysatorzubehörs zu werten ist. Der Kühler kann als Einfach- oder Doppelkühler Verwendung finden, d. h., es können zwei Gasströme parallel auf einen Taupunkt unter 5 °C entfeuchtet werden.
Bemerkenswert dürften weiter die von *Hartmann & Braun* (BRD) vorgestellten neuen Gasanalysatoren sein, die mit Mikroprozessoren ausgestattet sind. Es sind dies ein **Wärmeleitgerät CALDOS 5 G** und ein **thermomagnetischer Sauerstoffanalysator MAGNOS 7 G**. Durch den Einsatz der Mikroelektronik werden die meßtechnischen Eigenschaften verbessert. Das Meßsignal wird mit einer Auflösung von 0,25% verarbeitet und an bis zu 16 Stützstellen linearisiert. Die Anzeige erfolgt mit einem 9stelligen LCD-Display. Der Analysenthermostat ist temperaturgeregelt, geräte- und kalibrierspezifische Daten werden gespeichert, Eigenüberwachung und Testroutine sind vorgesehen.
Eine interessante Entwicklung auf dem Gebiet der Feuchtemeßtechnik wurde von *Endress + Hauser* gezeigt. Das Meßelement ist ein in Dünnschichttechnik hergestellter Meßkondensator. Die Grundelektrode besteht aus Aluminium, die Gegenelektrode bildet eine wasserdurchlässige Goldschicht. Als Dielektrikum dient feuchteempfindliches Al_2O_3. Die glatte Meßfläche erlaubt eine sichere

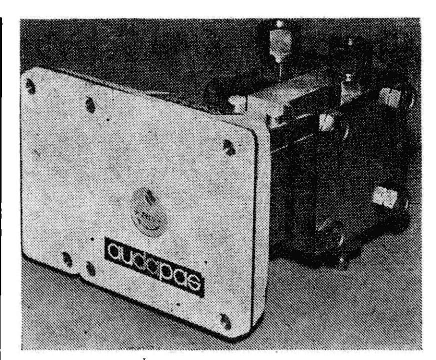


Bild 1. audapas-Differenzdruckmeßumformer

und reaktionsschnelle Messung, auch bei stark verschmutzten Medien und bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten.
Das unter der Bezeichnung **HYGROLOG WMY 770 Z** angebotene Gerät erfaßt und errechnet standardmäßig 8 Meßgrößen vom Feuchtegehalt in ppm bis zur Medientemperatur in °C, freiwählund jederzeit abrufbar.
Die VR Polen offerierte einen Feuchtemesser mit der Typbezeichnung **MCWW-1** zur kontinuierlichen oder zyklischen Bestimmung der Oberflächenfeuchtigkeit von Erzeugnissen.
Die UdSSR zeigte Geräte zur Optimierung von Verbrennungsprozessen, und zwar ein Gerät für die Erfassung der CO- und H_2-Konzentration im Rauchgas auf der Basis der thermisch-katalytischen Oxydation, Meßbereich 0 bis 0,3 Vol.-%, Fehler 10%, Zeitkonstante 5 s, und ein Gerät für die Messung der Veränderung des Kohlenstoffgehaltes in der Flugasche von Kesselanlagen. Das Meßprinzip beruht auf der Ermittlung der Dielektrizitätskonstanten der Flugasche, Meßbereiche 0 bis 4%, 2 bis 10%, 10 bis 35% des Kohlenstoffmasseanteils.
Von *DONVENTA* (Schweiz) wurde der **Ionenchromatograph 690** vorgestellt. Bei diesem Gerät wird das chromatographische Verfahren mit hoher Trennschärfe mit der empfindlichen elektrochemischen Methode kombiniert, d. h., es ist möglich, zugleich Ionen in Gemischen selektiv und simultan zu bestimmen. Die Meßbereiche liegen zwischen 0 bis 10 µS/cm und 0 bis 1000 µS je cm.
Abschließend sei noch das **Laser-Diameter-Meßgerät DG-50** (*MIKI Budapest*) erwähnt, das die schnelle Erfassung des Durchmessers von ablaufenden Drähten, Stangen und Rohren im Bereich 1 bis 50 mm mit einer Meßungenauigkeit von ±0,01 ... 0,03 mm bei bis zu 200 Messungen/s gestattet. Die Meßwerte können zur Toleranzüberwachung, Klassierung und Regelung genutzt werden.

Sekundärgeräte, Transmitter und Kompaktregler

Auf dem Gebiet der Sekundärgeräte ist, bedingt durch die neuartigen Kommunikationsmöglichkeiten, eine gewisse Stagnation zu beobachten. Ungeachtet dessen gibt es aber auch hier einen Trend zur Miniaturisierung.
Erwähnenswert ist im Angebot der DDR der programmierbare **Mehrkanalschreiber mit Mikroprozessor PMM 100** (*VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg*). Das mit 6 Strom- und Spannungseingängen ausgestattete Gerät kann als Steuer- und Recheneinheit eingesetzt werden, wobei eine gleichzeitige Registrierung der Meßwerte (Thermodrucker) möglich ist. Eine 6stellige Anzeige und eine Folientastatur ermöglichen die Eingabe frei programmierbarer Parameter.
Die gleiche Firma zeigte im Rahmen der **ursacord-compakt-combination** eine **programmierbare Mikroprozessoroperationseinheit CC-OP** zur Grenzwertanalyse und Verhältnisbildung von Prozeßgrößen, zur Signalverknüpfung, zur Temperaturkorrektur von Prozeßgrößen sowie zur Ausführung von Rechenoperationen. An die Bedienung werden keine höheren Anforderungen als bei konventioneller Technik gestellt. Der Speicherumfang beträgt 2 Kbyte, Schutzgrad IP 54, Frontabmessungen 144 × 36 mm².
Auf dem Gebiet der Transmittertechnik wurde ebenfalls die Reduzierung der Gerätevolumina deutlich. Der VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" bot einen **Temperaturtransmitter CC-F12** an, ausgestattet mit einem Widerstandsthermometer Pt 100 und einem miniaturisierten Zweileitermeßumformer. Eine Nachrüstung vorhandener Thermometer ist möglich! Technische Daten: Ausgangssignal 4 bis 20 mA, Grundfehler 0,5%, Umgebungstemperatur —25 °C bis 180 °C, Durchmesser 43 mm, Höhe 25 mm.
Der *VEB GRW Teltow* zeigte im Rahmen des audapas-Meßumformerprogrammes Druck- und Differenzdruckmeßumformer (Bild 1) sowie Präzisionsdruckwandler nach dem piezoresistiven Prinzip (msr berichtete darüber bereits ausführlich im H. 5/1987 und in diesem Heft auf S. 317 bis 321).
Neu im Angebot war weiter ein elektronischer **Temperaturzweipunktregler TAF 2010** (Bild 2). Das Gerät ist mit höher belastbaren Relaisausgängen und stufenloser Temperaturvorwahl ausgestattet. Die Anzeige des Schaltzustands erfolgt mit LED.
VEB Wetron Weida zeigte elektronische Regler aus der **Reihe RK**. Ist- und Sollwert werden, ebenso wie die Stellgröße, digital angezeigt. Mit dem **Dreipunktregler RK 50** ist neben der Regelung von Temperaturen eine Druck- oder Gemischregelung möglich, wenn die Regelgröße als Einheitssignal vorliegt. Die Regler sind als Kompaktgeräte mit den Frontabmessungen 96 × 96 mm² ausgeführt.
Schließlich wäre noch der **Mikroprozessorregler RK 80** erwähnenswert, der über 16 Analogsignaleingänge für Widerstandsthermometer Pt 100 oder Widerstandsferngeber verfügt. 8 Eingangssignale sind in Form von Einheitssignalen aufschaltbar. Außerdem verfügt der Regler über 18 Binäreingänge, wovon 12 frei programmierbar sind. Schutz-

grad IP 54. Als Einsatzgebiet werden Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen genannt.

Die VR Polen zeigte als Neuentwicklung einen **Temperaturregler RT 86,** der mit einem **Temperaturprogrammgeber PT 86** und einem **Grenzwertschalter BT 86** zu koppeln ist. Diese Geräte wurden für die Regelung von Hochtemperaturöfen entwickelt. Die Frontabmessungen betragen 96 × 96 mm². Eingangsseitig sind Thermoelemente oder Gleichspannungen aufschaltbar, ausgangsseitig liegen Impulse für die Ansteuerung eines Thyristorpaares vor. Der Regler ist als PID-Regler konzipiert. Die Genauigkeitsklasse wird höchsten Ansprüchen gerecht.

Energoinvest Sarajewo war mit einem durchgängigen Transmitter- und Reglerprogramm vertreten. Die Transmitter basieren ebenfalls auf dem piezorestiven Prinzip. Es wurden Druckmeßumformer mit den Meßbereichen 0 ... 10 kPa bis 0 ... 100 MPa, Fehler ±0,1% vom MB angeboten. Bei den Differenzdruckmeßumformern liegen die Bereiche zwischen 0 ... 5 kPa und 0 ... 300 kPa. Elektronische Regler, Ausgangssignal 4 bis 20 mA, und komplette Mikroprozessorüberwachungssysteme rundeten das Programm ab.

Hartmann & Braun offerierte das digitale **Kompaktreglersystem Protronic P.** Die digitalen Kompaktregler verfügen über eine optoelektronische Anzeige, 6 Analogein- und 4 Analogausgänge sowie 9 Binärein- und 13 Binärausgänge. Die Reglerfunktionen sind mittels Software umschaltbar, und zwar auf Kontrolle, Schritt-, Zweipunkt- und Programmregelung. Die Geräte verfügen über geschützte Umschalttasten und Selbstroutine. Außerdem haben die **Regler Protronic PS** eine serielle Schnittstelle, über die die Geräte mit übergeordneten Systemen oder IBM-PC gekoppelt werden können. Die Frontabmessungen betragen **144 × 72 mm²**, Ausgangssignal 4 ... 20 mA bzw. 0 bis 20 mA. Das System wird durch einen Doppelanzeiger, einen Konfigurator, ein Serviceleitgerät und einen Adapter ergänzt. Schließlich wird zu diesem Reglerprogramm Koppelsoftware zum Anschluß von 12 Reglern an einen Personalcomputer bereitgestellt.

Eine interessante Kompaktreglerlösung zeigte *Foxboro* (BRD) mit der **Single-Station der Reglerbaureihe 760.** Es handelt sich dabei um einen adaptiven PID-Regler, der aus der Regelabweichung bei Last- oder Sollwertänderungen mit Hilfe von Einstellregeln günstigere P-, I-, D-Parameter berechnet. Die Konfigurierung erfolgt über die Fronttastatur und ist gegen Netzausfall gesichert. Die Geräte sind mit Fluoreszenzanzeige ausgestattet. An Standardregelfunktionen sind P-, I-, PI-, PD- oder PID-Verhalten einschließlich aller zur PID-Regelung gehörenden Funktionen anwählbar. Neben 4 analogen Eingängen, 2 analogen Ausgängen (1 bis 5 V, 4 bis 20 mA) und jeweils 2 binären Ein- und Ausgängen ist der

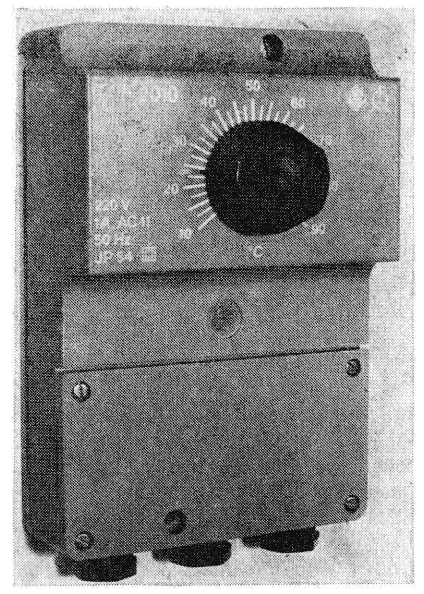


Bild 2. Temperaturzweipunktregler TAF 2010

Regler mit einer Schnittstelle RS 485 sowie einem Umsetzer für RS 232 C versehen, über die 32 Regler an einen übergeordneten Rechner oder Personalcomputer angeschlossen werden können. Der Regler wurde mit einer Goldmedaille ausgezeichnet.

Stellgeräte

Ungeachtet der Tatsache, daß Stellgeräte einen dominierenden Einfluß auf die Eigenschaften der Regelstrecken haben, fand man sie nur im Hintergrund der weitreichenden Angebote.

Der *VEB Reglerwerk Dresden* bot zur Verbesserung des Stellverhaltens pneumatische und elektropneumatische Stellungsregler an. Dazu kamen Lageschalter, Stellungsgeber und Verblockeinrichtungen für die pneumatische Stelltechnik. Weiterhin wurden Motorventile gezeigt, deren elektrische Schubantriebe mit elektronischen Dreipunktreglern ausgestattet sind, die einen unmittelbaren Anschluß von Gebern oder Meßumformern mit Strom- oder Spannungsausgang zulassen. Die Ventile werden mit Regel- oder Auf-Zu-Charakteristik geliefert, der Ventilkegel kann mit einem PTFE-Dichtring ausgestattet werden.

Bemerkenswert ist auch die vom *VEB Magdeburger Armaturenwerke* gezeigte Neuentwicklung einer **Magnetventilbaureihe PN 40,** deren Ventile in den Nennweiten 15 bis 50 angeboten werden. Die Ventile sind stopfbuchslos und hart dichtend. Sie sind für neutrale Stoffe, Heißwasser und Dampf bis zu Temperaturen von 300 °C einsetzbar. Der gleiche Betrieb zeigte als Neuentwicklung Kugelhähne für Nenndrücke von 1 bis 40 MPa, Nennweite 10 bis 500, einschweißbar oder mit Flanschanschluß, einsetzbar auch für aggressive Stoffe im Temperaturbereich zwischen −60 °C und 230 °C. Diese Kugelhähne können sowohl mit Hydraulikantrieben als auch mit pneumatischen Antrieben ausgestattet werden. Die Austattung mit Elektroantrieben ist in Vorbereitung.

Dem zunehmenden Bedürfnis nach fernansteuerbaren Stellgeräten in Heiznetzen entsprechend zeigte die VR Polen einen elektrischen **Schubantrieb MES-1.1** für Durchgangsventile NW 20 bis 80 und Nenndrücke bis 10 MPa mit einem maximalen Hub von 40 mm und Stellkräften bis 4 kN.

Interessant ist weiter, daß neben den Kugelventilen die Stellklappe stärker in den Vordergrund rückt. Teils wird das durch die insbesondere bei großen Nennweiten mögliche Masseeinsparung bzw. die einfachere Konstruktion bedingt sein. So offerierte *KEYSTONE ARMATUREN* ein breit gefächertes Angebot von Klappen mit pneumatischen und elektrischen Schwenk- und Regelantrieben sowie Komponenten für die Digitaltechnik an. Das Angebot umfaßt Klappen der Nennweite 25 bis 2000, Differenzdruck 1 bis 4 MPa, dichtschließend und einsetzbar in Temperaturbereichen von −40 °C bis 120 °C bzw. −50 °C bis 530 °C. Bemerkenswert ist die totraumfreie Ausführung und die Möglichkeit der Vollgummierung oder PTFE-Auskleidung bis NW 300.

Die Firma *HP + HP Chemiestellglieder* bot Stellgeräte mit Nennweiten von 15 bis 400 und Nenndrücken bis 40 MPa an, die mit pneumatischen Membranantrieben ausgestattet sind. Die wirksame Membranfläche liegt zwischen 75 und 1250 cm², als Tandemausführung bis 2500 cm². Ferner werden Schwenkantriebe mit Drehwinkel von 60° bis 90° für Klappen, Küken, Kugelhähne und Drehkegelventile angeboten, die aus nahezu allen formbaren Metallen bis zum Zirkonium lieferbar sind. Nicht unerwähnt bleiben soll das Drehkegelventil **FLONEX 200,** Nennweite 15 bis 250, Nenndruck 4 MPa. Diese Entwicklung bildet den Extrakt aus einem Kugelhahn und dem Absperrelement eines Ventils. Der Stellbereich dieses Ventils von mehr als 1:80 bei einer hervorragenden Kennlinie über den gesamten Öffnungs- und Schließwinkel ist beachtenswert. Diese Ventilbauart ist auch als Dreiwegeventil konzipiert worden.

Auch auf einen neuentwickelten intelligenten Stellantrieb für Versuchsanlagen und höchste Ansprüche mit der Typbezeichnung **HP 20 E** ist hinzuweisen. Das zugehörige Computerprogramm verfügt über eine frei programmierbare PID-Regelung ohne und mit Zeitverzögerung sowie über bis zu 4 Meß- und 4 Rückmeldekanäle. Das Gerät ist über ein Interface an jeden Steuerrechner anschließbar. Die Auflösung der Regelung ist bis zu 2‰ frei programmierbar.

Neu war schließlich noch eine Faltenbalgabdichtung für alle Schwenkarmaturen, die Leckverluste an der Durchführung der Welle ausschließt. Die Stellbewegung (manuell oder mit Stellantrieb) wird mit einem abgewinkelten Metallschlauch erzeugt.

Bezogen auf die Stelltechnik kann gesagt werden, daß sich pneumatische



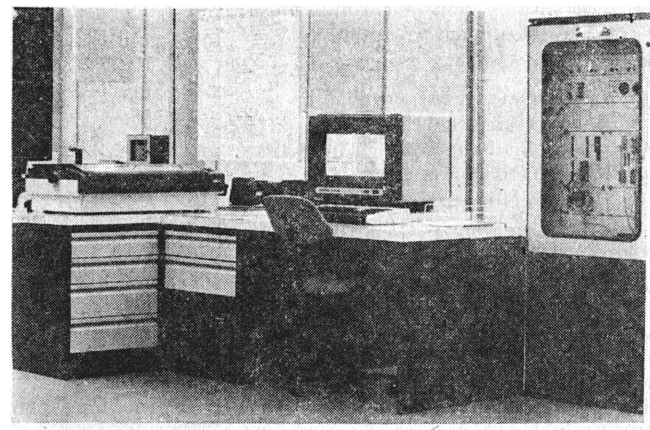


Bild 4. Gewächshausautomatisierungsanlage

GWA 5000 mit Unterstation G 500 (rechts) und Prozeßleitebene

◀

Bild 3. Prozeßleitsystem audatec für das Automatisierungsobjekt „Papiermaschine Schwedt"

und elektromechanische Stellantriebe nach wie vor behaupten und daß die gegenwärtigen Anstrengungen auf die Verbesserung des Stellverhaltens abzielen. Die Einrichtungen hierfür werden auf Signale ausgerichtet, die für die Einführung der Mikrorechentechnik geeignet sind. Darüber hinaus zeichnet sich eine Suche nach kostengünstigeren Lösungen für das eigentliche Stellorgan ab.

Automatische Prüfsysteme

Die gegenwärtigen Entwicklungstendenzen in der Prüftechnik sind u. a. gekennzeichnet durch Systemlösungen unter Einbeziehung der Software, vielfältigen Einsatz von Mikroprozessoren zur Erweiterung und Vervollkommnung der Prüffunktionen sowie anwenderorientierte Entwicklungen und Modifikationen.
Viele Hersteller sind bemüht, die Qualität ihrer Produkte zu steigern und Fehler im Fertigungsprozeß schon im frühest möglichen Stadium zu erkennen. Diesem Ziel dient der **Prüfautomat für Rohleiterplatten PRL 01** (*VEB Robotron-Meßtechnik „Otto Schön" Dresden*), der durch die automatische Prüfung unbestückter Einlagen- und Mehrlagenleiterplatten fehlerhafte Exemplare (Leiterzugunterbrechungen, Kurzschlüsse) vor der Bestückung erkennt und die fehlerhafte Stelle über Monitor und Drucker angibt. Als Elektronikteil dient ein **modifizierter Verdrahtungsprüfautomat P 3000** mit einer speziellen Software. Jeder Leiterplattentyp erfordert einen speziellen Zwischenadapter mit gefederten Stiften zur Kontaktierung der Lötaugen. Die Sollwerteingabe erfolgt entweder über ein Kassettenmagnetbandgerät oder selbstlernend durch Einprogrammieren von einem Master.

Digitale Systeme der Prozeßautomatisierung

Als Produzent des bewährten Prozeßleitsystems **audatec** stellte der *VEB GRW Teltow* (*KAAB*) dessen Einsatz in der Leichtindustrie vor. Zur Rekonstruktion einer Zeitungsdruckpapiermaschine hatten sich der *VEB Papier- und Kartonwerke Schwedt* sowie die Firma *Andritz* (Österreich) für **audatec** entschieden. Nach einer Projektierungs- und Fertigungszeit von 8 Monaten erfolgte die Montage und Inbetriebnahme der Anlage mit der Konfiguration — 4 Pultsteuerrechner (jeweils mit Farbmonitor und Tastatur), 11 Basissteuereinheiten, eine Datenbahnsteuerstation, eine Koppeleinheit zur Wartenrechnerankopplung — innerhalb von 2 Monaten.
Demonstriert wurde insbesondere die Prozeßkommunikation über eine zentrale Warte mit Monitoren und Tastaturen, zu deren Aufstellung bzw. Unterbringung Pultsteuerrechner dienten. Die Aufteilung der Bilder auf die Pultsteuerrechner erfolgte so, daß die gesamte technologische Linie verfolgbar ist. Zwei Drucker dienen der Bedien- und Alarmprotokollierung bzw. der Trendprotokollierung. Mit der Anlage werden 550 Analogeingänge, 80 Analogausgänge, 900 Binäreingänge und 600 Binärausgänge verarbeitet, wobei

— Motorsteuerungen mit softwareseitig angepaßten Spezialmoduln
— aus Softwarestandardmoduln zusammengesetzte Lösungen für Messungen/Regelungen
— vermaschte Rezepturregelung (Umschaltmöglichkeit für Wartenrechnerführung zur Prozeßoptimierung)

zum Leistungsumfang gehören.
Das Messeexponat (Bild 3), das einen beträchtlichen Anwendernutzen erbringt, wurde mit einer Goldmedaille ausgezeichnet.
Mit einer anlagentechnisch instruktiven Druckschrift über die **audatec-Automatisierungslösung zur Abwasserreinigung** wurde über eine weitere Anwendungsmöglichkeit informiert. msr berichtete über das Prozeßleitsystem **audatec** sowie diese Anwendungslösung ausführlich im H. 4/1987.
Der *VEB Automatisierungsanlagenbau Cottbus* (*KAAB*) demonstrierte seine Leistungsfähigkeit in den Stufen Angebot und Projekt bis zur vollständigen Realisierung mit einer Automatisierungslösung für den Umweltschutz, einer mikrorechnergeführten Großflächenwasserhaltung. Derartige Anlagen sind erforderlich, um in Tagebauen und deren Umfeld den Wasserhaushalt in einem ökologisch erforderlichen Maß regulieren zu können.
In der ersten Prozeßstufe wird der Einzelbrunnen betrieben. Die zweite Prozeßstufe bilden die Brunnengruppen (maximal 30 Brunnen und eine Transformatorenstation). In einer Zentraleinheit (klimatisierter Freiluftschrank) werden über einen Mikrorechner folgende Aufgaben realisiert:

— Herstellung der Verbindung zwischen Einzelbrunnen und Leitstand über die Datenfernübertragungseinrichtung (Leitstand entspricht audatec-Grundprinzipien)
— Verarbeitung von Störmeldungen der Energiebereitstellung, Fernschaltung der Transformatorenstation, Datenverdichtung
— Bedienung und Anzeige für Brunnengruppen ohne Leitstandanschluß.

In Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen der DDR wurde durch den *VEB Geräte- und Regler-Werke Leipzig* (*KAAB*) das **Verkehrssteuersystem VSS 5000** entwickelt und komplettiert. Die gezeigte Systemlösung verfügt über drei Verarbeitungsebenen. Die unterste Ebene wird durch die **Steuerteile L 6000** dargestellt. Die **Unterzentrale Z 500** bildet die zweite Prozeßebene mit den wesentlichen Aufgaben

— Koordinierung von Steuerteilen L 6000 zu „Grünen Wellen"
— Erfassung, Verarbeitung und Verdichtung von Verkehrsdaten
— Protokollierung relevanter Betriebszustände

— Umschaltung von Koordinierungsprogrammen nach ermitteltem Verkehrsaufkommen.

Die Leitzentrale Z 50L erfaßt die gesamte Straßenverkehrssituation. Ihr Einsatz erfolgt hauptsächlich in großen Städten. Mit der Z 50L werden nicht nur Entscheidungen über die anzuwendende Strategie der Steuerung und Koordinierung mehrerer Z 500 vorbereitet und getroffen, sondern es wird auch eine komplexe Kontrolle des Betriebszustandes durchgeführt.

Vom gleichen Betrieb wurde die **Gewächshausautomatisierungsanlage GWA 5000** ausgestellt, die über 2 Verarbeitungsebenen verfügt. In der unteren (prozeßnahen) Ebene erfassen die **Unterstationen G 500** die Prozeßdaten und veranlassen die Steuerung und Regelung der technologischen Anlagen der einzelnen Gewächshäuser. Mit einer G 500 können 7 Abteilungen bzw. Gewächshäuser mit hohem technologischem Ausstattungsgrad betrieben werden (ggf. auch autark ohne Prozeßleitebene). Die Voraussetzung dazu sind u. a. die maximal projektierbaren 256 analogen Eingänge, 256 binären Eingänge und 384 binären Ausgänge (Bild 4).

Die Unterstationen (maximal 30) sind über ein serielles Datenübertragungssystem mit der übergeordneten Ebene der Prozeßleitung und Prozeßüberwachung verbunden. Damit ist das System in der Lage, umfangreiche Gewächshausautomatisierungen durchzuführen. Mögliche Einsatzgrenzen bzw. die Frage nach einer Konzepterweiterung durch eine kleinere Unterstation könnten sich nur bei einer extremen Abrüstung im Zusammenhang mit Kleinanlagen ergeben. Zur gesamten Leitzentrale gehören neben der bereits genannten Rechnereinheit Z 500 Farbmonitor, Tastatur, Magnetbandeinheit und Seriendrucker. Von ihr können Alarmmeldungen und vielfältige Betriebsprotokolle ausgedruckt bzw. auf dem Farbmonitor zur Anzeige gebracht und automatische oder Handausgaben zur Änderung von Sollwerten oder komplexen Klimawerten vorgenommen werden. Besonders wurde auf die generellen Nutzeffekte der Gewächshausautomatisierung und die Vorteile dieser Lösung gegenüber konventionellen Einrichtungen hingewiesen.

Eine technisch sehr leistungsfähige und vom Aufbau her robuste Anlagenlösung demonstrierte der *VEB Elektroprojekt und Anlagenbau* (Stammbetrieb *KAAB*) mit seinem Exponat **„Prozeßnahes Netzwerk mit freiprogrammierbarer Steuerung MRS 705“** (Bild 5).

MRS 705-Steuerungen zeichnen sich durch folgende Neuerungen aus:

— Netzwerkfähigkeit im Echtzeitbetrieb
— robuster Konstruktionsaufbau mit integriertem Anschluß- und Rangierfeld
— leistungsfähige Test-, Inbetriebnahme- und Servicefunktionen (ISOS-Test unter Nutzung des MRS-Netzwerkes).

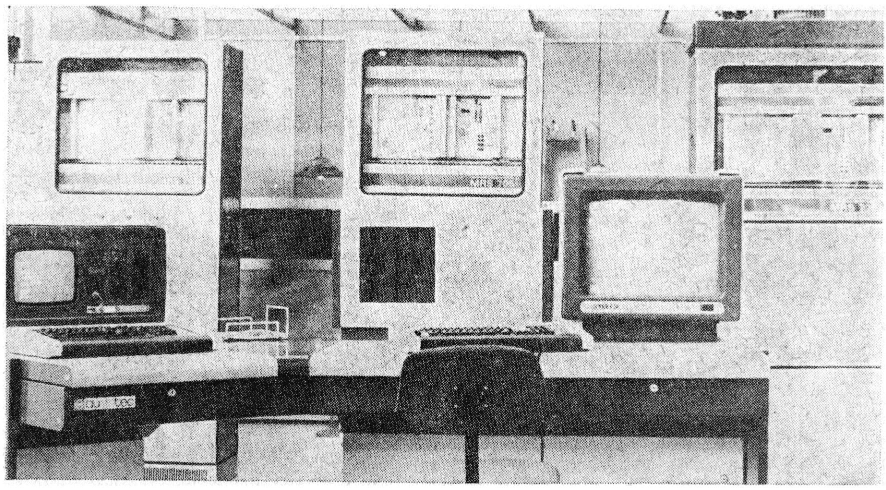


Bild 5. Hardwarelösung für ein prozeßnahes Steuerungsnetzwerk auf der Basis von MRS 705 und übergeordnetem Kommunikationsrechner

Diese neuen Erzeugnisse sind als Einzelsteuerungen (Aggregate, Maschinen), als Netzwerk (eigenständiger Prozeßsteuerverbund) oder als Subsystem für Großanlagen lieferbar.

Einsatzbeispiele sind Walzwerks- und Zementanlagen, Extruderanlagen, Diesel- und Zentrifugensteuerungen, TUL-Prozesse u. ä.

Die Steuerung MRS 705 mit den funktionalen Komponenten (Grundgerät):

— Baugruppenträger mit Systembus und Buselektronik
— Stromversorgung mit Überwachungseinheit
— Rangierfeld Leistungssignale
— Rangierfeld Kleinleistungssignale mit Sicherung zur Stromkreisbildung
— Versorgungsanschlüsse
— Lüfter, Luftstromüberwachung, Temperaturfühler

ist die größte Ausbauvariante der Gerätefamilie MRS 700.

Die Konstruktion erlaubt die Wandaufhängung. Geber und Stellglieder werden über Prozeßkabel bis an die Steuerung geführt und mit Schraub-, Federkraft- und Schlitzklemmen rangiert und angeschlossen. Speziell auf die Anschlußbedingungen des Automatisierungs- und Elektroenergieanlagenbaus ist das breite Peripheriebaugruppensortiment ausgerichtet. In Verbindung mit diesem Exponat erfolgte die Demonstration eines Prototyps für die Weiterentwicklung der Prozeßleit- und Überwachungsebene in hierarchisch strukturierten Automatisierungssystemen. Dabei wurden die mikrorechentechnischen Eigenschaften zugrunde gelegt, wie sie weiter unten im Zusammenhang mit der freiprogrammierbaren Steuerung **SPS 700** genannt werden. Die Verbindung zwischen dem Kommunikationsrechner (Farbmonitor, Floppy-Disk-Speicher, Bedientastatur) und den unterlagerten MRS 705 (2 Ebenensystem) erfolgte durch Datenübertragung über Lichtleitkabel.

Aufgaben der Steuerung und Regelung im Bereich der unteren bis mittleren Leistungsklasse können mit dem modular aufgebauten Gerätesystem **EAW electronic S 2000** (*Kombinat Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow*, Stammbetrieb) gelöst werden. Mit dem Baugruppensortiment lassen sich Konfigurationen zur speicherprogrammierbaren prozeßnahen **Steuerung S 2000 S** und prozeßnahe speicherprogrammierbare **Regeleinrichtungen S 2000 R** (begrenzt auch Steuerfunktionen) aufbauen. Die für die Programmierung entwickelten Fachsprachen PROLOG-S (für S 2000 S) und PROMAR (für S 2000-R) sichern bei der Programmentwicklung durchgängige CAD-Prozesse. Programmierung und Eingabe des Steuer- bzw. Regelalgorithmus erfolgt bei S 2000 S als Anweisungsliste, bei S 2000 R als Modulverbindungsliste. Durch Programmiergeräte sowie Leit-, Bedien- und Servicegeräte wird die Softwarearbeit in starkem Maß erleichtert. Der Einsatz bietet sich u. a. bei Be- und Verarbeitungsmaschinen, Verpackungsmaschinen, Geräten der Fördertechnik, in der chemischen Industrie, im Schiffbau und beim Rationalisierungsmittelbau an.

Der Tendenz einer allgemein anwendbaren Systemtechnik in hierarchisch gegliederten Einrichtungen entspricht das universelle **Programmier- und Entwicklungssystem P 8000** für die 8-bit- und 16-bit-Mikrorechentechnik (*KEAW*, Stammbetrieb), das mit einer Goldmedaille ausgezeichnet wurde. Dieses Arbeitsplatzcomputersystem mit Multi-User-/Multi-Task-Eigenschaften besteht aus Hardwarekomponenten, die in verschiedener Weise konfiguriert werden können: Grundgerät, Terminal, EPROM-Programmer, Hard-Disk-Beistellgerät und In-Circuit-Emulatorsystem. Vier Betriebssysteme sind implementiert: WEGA (UNIX-kompatibel), OS/M (CP/M-kompatibel), UDOS (RIO-kompatibel) und IS/M (ISIS II-kompatibel). Schwerpunkt der gegenwärtigen Anwendungen ist die Unterstützung der Softwareentwicklung für die Mikroprozessorfamilien UB 8810/ UB 8820 (Einchipmikrorechner), UB

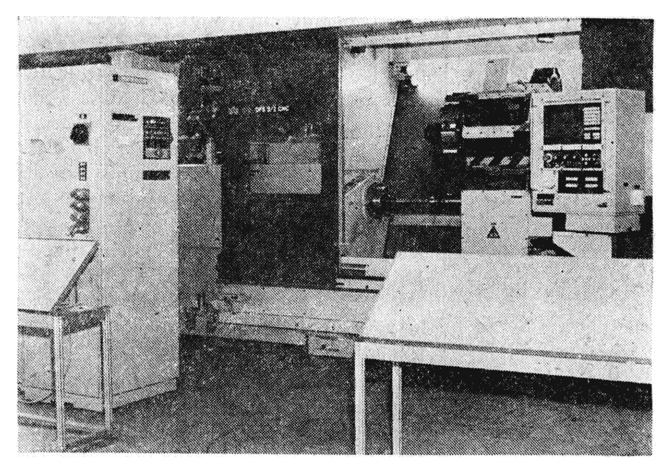


Bild 6. Drehzentrum für Futter- und Spitzenteile mit CNC-Steuerung (Archivfoto WMW-DDR)

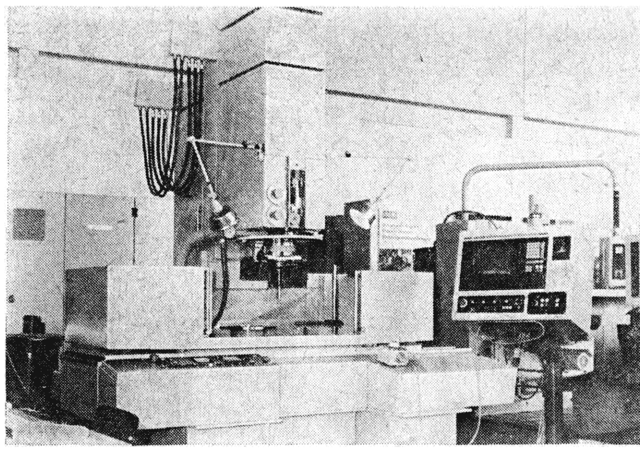


Bild 7. Einständer-Koordinatenschleifmaschine mit SINUMERIK-Steuerung (Archivfoto WMW-DDR)

8001/UB 8002 (16-bit-Mikroprozessorsystem) und K 1810 MW 86 (16-bit-Mikroprozessorsystem).

Für Echtzeitaufgaben im 16-bit-System UB 8001/UB 8002 werden zusätzlich das **Betriebssystem IRTS 8000** und das zugehörige **Generierungssystem ICL 8000** bereitgestellt.

Das System P 8000 kann mit einer Echtzeitgrundeinheit mit Echtzeitbetriebssystem als Koppelteil zum technologischen Prozeß ausgerüstet werden, so daß damit der **Industriecomputer P 8100** (*KEAW*, Stammbetrieb) entsteht. Die Kopplung beider Teile erfolgt über ein serielles Interface, die Prozeßkopplung über Baugruppen zur analogen bzw. digitalen Ein-/Ausgabe. Dieses Mehrrechnerkonzept ermöglicht die optimale Aufgabenadaptierung für unterschiedlichste Anwendungsfälle.

Die **speicherprogrammierbaren Steuereinrichtungen ASt 5011** (*VEB Schiffselektronik Rostock*), bestehend aus Verarbeitungseinheiten VE 1, Baugruppen ursalog 4000 und Zusatzeinrichtungen, wurden speziell für Anwendungen an Bord von Seeschiffen entwickelt. Sie haben sich bei der Steuerung und Überwachung von Hilfsantrieben vielfältig bewährt. Die Speisung erfolgt aus einem ausfallsicheren Bordnetz mit GS 24 V $\pm$ 20%. Die Programmierung nimmt der Hersteller entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Schiffstyps vor.

Als übergeordnete automatische Überwachungseinrichtung speziell für den Schiffsbetrieb wurde die Einrichtung **EAW electronic E 8100** (*KEAW*, Stammbetrieb) konzipiert. Sie setzt sich aus einer Maschinenüberwachungsanlage mit Prozeßstation, Hauptstation und Brükkenstation sowie einer Manöverregistrieranlage und einem Sicherheitssystem für die Hauptantriebsanlage zusammen. Die Einrichtung dient der Überwachung, Registrierung und Anzeige wichtiger Parameter des Schiffsmaschinenbetriebes. Das System arbeitet speicherprogrammiert und basiert im wesentlichen auf Mikrorechnern mit 16 bit und 8 bit Verarbeitungsbreite.

Als Ergänzung des TGA-Mikrorechnerbausteins (*VEB Technische Gebäudeausrüstung Gera, KTGA*) wurde gemeinsam mit der *Bauakademie der DDR* eine komplette neuentwickelte **TGA-Leittechnik** vorgestellt. Die Entwicklung soll noch in diesem Jahr abgeschlossen werden. Die TGA-Leittechnik dient zur zentralen Überwachung und Bedienung der im *VEB Kombinat TGA* produzierten Fernwärmestationen (Hausanschlußstationen, Kompakt-Wärmeübertragungsstationen, zentrale Übertragerstationen). Das System weist eine 2-Ebenenstruktur auf. Die TGA-Mikrorechnerbausteine (untere Ebene) sind Bestandteil der Fernwärmestationen und erfüllen dort sämtliche Aufgaben der örtlichen Regelung und Steuerung. In der Leitzentrale wird ein **Personalcomputer PC 1715** (*VEB Kombinat Robotron*) mit einer implementierten Leittechniksoftware und seriellen Interfacekarten eingesetzt.

Diese Lösung entspricht dem internationalen Trend. Mit der TGA-Leittechnik wurde ein System zur Gebäudeautomatisierung vorgestellt, das in der unteren Leistungsklasse kostengünstig eingesetzt werden kann.

Flexible Automatisierung der Fertigung

Der internationale Werkzeugmaschinenmarkt unterliegt gegenwärtig weltweit erheblichen Veränderungen; verlangt werden flexibel einsetzbare anwendergerechte Lösungen, die vor allem einen sukzessiven Ausbau zulassen. Die DDR-Werkzeugmaschinen- und Werkzeugindustrie präsentierte mit ihren vier Kombinaten zum Thema „Flexible Automatisierung der Fertigung" einen Querschnitt von neu- und weiterentwickelten Erzeugnissen mit hohem automatisierungstechnischem Niveau. Eine kleine Auswahl interessanter Lösungen soll hier angesprochen werden.

Im Bild 6 wird das **Bearbeitungszentrum C DFS 2/2** aus dem *VEB Drehmaschinenbau „8. Mai" Karl-Marx-Stadt* (*VEB Werkzeugmaschinenkombinat „7. Oktober" Berlin*) gezeigt. Die zugehörige CNC-Steuerung ist gut zu erkennen. Durch den Einsatz von angetriebenen Werkzeugen in einem 12fach-Werkzeugträger kann auf dieser CNC-Maschine eine Komplettbearbeitung von Futter- und Spitzenteilen erfolgen. Dieses Drehbearbeitungszentrum kann aber auch als Fertigungszelle ausgeführt werden, d. h., es wird mit einem Portalroboter mit Palettenstation oder mit anderer, auf die konkreten Einsatzbedingungen zugeschnittener Handhabetechnik ausgerüstet.

Im Bild 7 wird die **Einständer-Koordinatenschleifmaschine SKoE 630 × 1000/1 NC3** (*VEB Mikromat Dresden, VEB Werkzeugmaschinenkombinat „Fritz Heckert"*) mit der Steuerung SINUMERIK 3M (*Siemens*, BRD) gezeigt, mit der die technologischen Möglichkeiten des Koordinatenschleifens erweitert werden. Mit der programmierbaren Steuerung SINUMERIK 3M wird eine hohe Disponibilität und Flexibilität sowie Leistungsfähigkeit im automatischen Programmablauf erreicht.

Am Demonstrationsbeispiel „Herstellung von Elektroschaltkästen" wurden die Vorteile des **flexiblen Transferpressenkomplexes PE 2-HTr-300** veranschaulicht.

Die Gesamtanlage wird mit der **speicherprogrammierbaren Steuerung SPS 700** (*VEB Numerik, VEB Werkzeugmaschinenkombinat „Fritz Heckert"*) automatisiert, während die Steuerung der hydraulischen Achsen des Transfer über eine **speicherprogrammierbare elektronische Steuerung EFE 720** (*VEB Erfurt-electronic „Friedrich Engels", VEB Kombinat Umformtechnik „Herbert Warnke"*, Erfurt) erfolgt. Der Stammbetrieb dieses Kombinates ist der Lieferer des Gesamtkomplexes.

Bei der EFE 720 handelt es sich um eine modulare Mikrorechnersteuerung mit K 1520-Systemarchitektur, spezieller Logikverarbeitung und Positionierbaugruppe. Vom gleichen Hersteller wurde daneben auch die **speicherprogrammierbare Kleinsteuerung EFE 700** ausgestellt, die Relais- und Schützsteuerungen ersetzen kann.

Mit der Entwicklung des **SPS 700 M** wird die Steuerungslinie des *VEB Numerik* mit den Komponenten PS 2000, PC 600 und MRS 700 kontinuierlich fortgeführt und ausgebaut.

Das SPS 700 M ist vollständig im System 700 integriert, in dem auf der

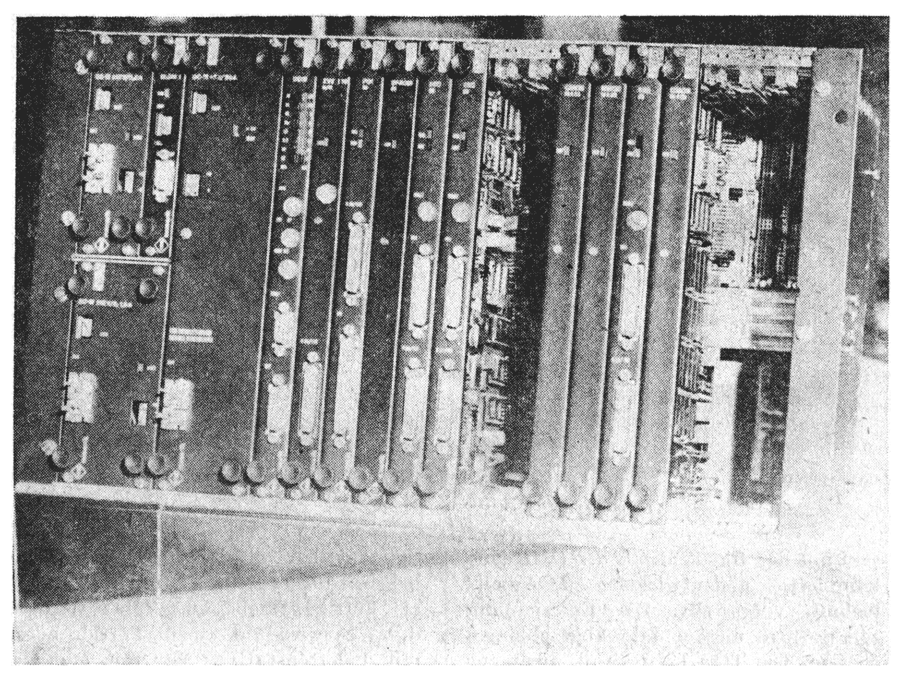


Bild 8. Kassette S 700

Basis einheitlicher Realisierungsunterlagen und -vorgaben sowohl Erzeugnisse der CNC- als auch der SPS-Technik entwickelt und in die Produktion eingeführt werden.
Ausgewählte Merkmale der SPS 700 sind:

— hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit von Bit- bzw. Logikoperationen bei der Ausführung von Byte- bzw. Wortoperationen durch universellen 16-Bit- bzw. Logikprozessor
— einheitliches internes Bussystem für alle Baugruppen (Zentraleinheit und Peripheriebaugruppen)
— Einsatz einer modularen Stromversorgung (System-700-Module), Integration von Stromversorgungsmodulen unterschiedlicher Leistungen und Spannungen in den Baugruppenträger
— freiwählbare Anordnung der Peripheriebaugruppen im Baugruppenträger, intelligente Peripheriebaugruppen
— Einsatz von Kommunikationsprozessoren (IKC) zum Bedienen, Beobachten und Protokollieren von Prozeßinformationen
— Erweiterung der projektierbaren Systemgrenzen (EA-Kanäle, Zeitglieder, Zähler, wortorientierte Funktionsbausteine, Speicherplatz für Anwenderprogramme)
— Anwendung problemorientierter Programmiersprachen gemäß TGL 42403 mit entsprechender Programmier- und Inbetriebnahmetechnik.

Das freiprogrammierbare Steuerungssystem CNC 700 ist aus dezentralen kompakten Komponenten aufgebaut und dient zur flexiblen Automatisierung im Be- und Verarbeitungsmaschinenbau an Einzelmaschinen für Werkstattbetrieb, Kleinserien- und Großserienproduktion, für Bearbeitungszentren und Fertigungszellen zur umfassenden Teilebearbeitung mit In-Prozeß-Messung, Beschickung und Entsorgung sowie für jede dieser Maschinenarten im Einsatz in flexiblen Fertigungssystemen und automatischen Fabrikhallen.
Neben der MRS 705 ist noch auf die Mikrorechnersteuerungen **MRS 702** und **MRS 703** des *VEB Numerik* hinzuweisen. Es sind leistungsfähige und preisgünstige Kleinsteuerungen, deren Einsatz sich auch bei einfachen Maschinen lohnt und dem Betreiber universelle Anwendungsmöglichkeiten bietet. Eine anwendernahe Programmierung ist mit Hilfe des Bildschirmprogrammiergerätes **PRG 700** (*VEB Numerik*) gegeben, wie es auf einem Sitzpult links im Bild 5 wiedergegeben wird. Die Bilder 8 und 9 vermitteln einen Eindruck vom Aufbauprinzip der Kassetten bei 2 Vertretern der Familie 700.

Einzellösungen und Trends bei der Prozeßautomatisierung

Von der UdSSR wurde ebenfalls der Einzug der 16-bit-Technik in die automatischen Prozeßsteuerungssysteme demonstriert. Es wird in diesem Zusammenhang auf den **Mikrorechner Elektronika MS 1201.02** des Unternehmens *ELORG* (Moskau) verwiesen.
Die Firma *ELWRO* (Wrocław/VR Polen) zeigte in Funktion eine moderne Automatisierungslösung für einen Einsatzfall der Verfahrenstechnik, bestehend aus einem Pult mit Farbmonitor und einer Basiseinheit mit dem **Mikrorechner ELWRO-80**. Die Schaltungstechnik lehnte sich an die Schaltkreisfamilie Intel 8080 an. Eine deutschsprachige Unterlage mit Hinweisen auf weitere Anlagenlösungen stand zur Verfügung.
Unternehmen wie *Foxboro*, *Honeywell*, *Siemens*, *AEG-Telefunken* informierten mit Hilfe von grafischen Aussagen bzw. entsprechenden Druckschriften über moderne, eingeführte Systeme für Anlagenlösungen, wie **Spectrum**, **TDC 3000** für die Industrieautomatisierung, **Teleperm ME** für die Kraftwerksautomatisierung und freiprogrammierbare **Logistat-Steuerungen.** Andere Firmen zeigten auf Teilgebieten komplexe Automatisierungslösungen, so die Firma *Kratel* (BRD) ein Produktionskontrollsystem für Reinraumtechnologie auf IBM-PC-Basis. Die LFM '87 zeigte, daß vielfältige anwendungsgerechte digitale Prozeßautomatisierungssysteme in der Praxis eingeführt sind und angeboten werden. Neben der 8-bit-Technik wird verstärkt die 16-bit-Technik angewendet. Zahlreiche Lösungen lassen erkennen, daß der Einsatz der PC-Technik in der Industrieautomation zunehmen wird.
Insgesamt bot die Leipziger Frühjahrsmesse 1987 einen ausgewogenen Überblick über den gegenwärtigen internationalen Stand der Automatisierungstechnik.

msr 8699 *H. Gena, H.-H. Ehlert, H. Gottschalk; Red.*

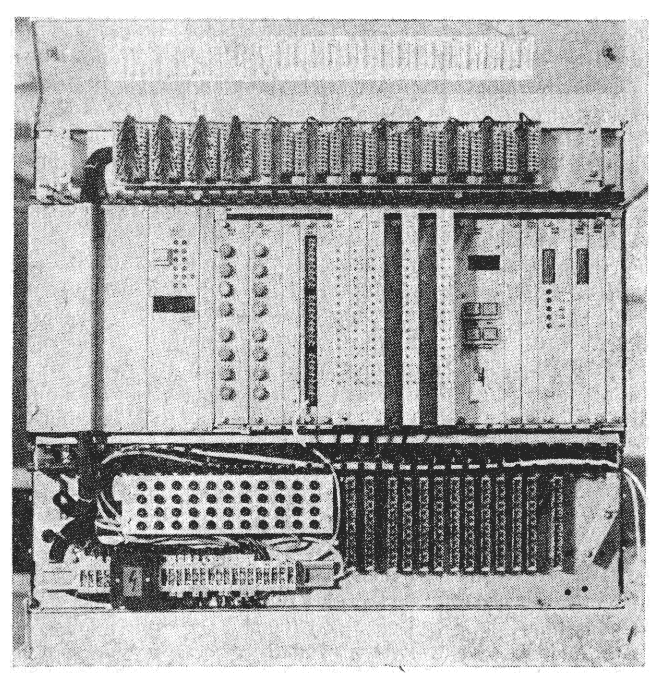


Bild 9. Kassette MRS 705

Lichtwellenleiter in Energie- und Automatisierungsanlagen. Von *D. Engelage*. Berlin: VEB Verlag Technik 1986. 236 Seiten, 145 Bilder, 11 Tafeln, 24,— M.
Bestell-Nr. 5536175

Der Einsatz von Lichtwellenleitern in Energie- und Automatisierungsanlagen gewinnt in dem Maße an Bedeutung, wie die spezifischen, funktionellen Vorteile der Lichtwellenleitertechnik sich auch ökonomisch umsetzen lassen. Das Buch trägt diesem Anliegen weitgehend Rechnung. Der Schwerpunkt wird auf Grundlagen der Lichtwellenleitertechnik und Prinziplösungen gelegt. Bei dem hohen Entwicklungstempo auf diesem Fachgebiet ist das auch ein angemessener Weg, um nicht bereits beim Erscheinen unaktuell zu sein. Der Inhalt des Buches ist gut gegliedert, flüssig geschrieben und didaktisch gut aufgebaut. Die gute Bebilderung unterstützt das Anliegen. Ausgehend von einem historischen Abriß und der physikalischen Einordnung von Lichtwellenleitern (LWL) werden im Kap. 2 die theoretischen Grundlagen behandelt. Ausgangspunkt für die Darstellung der wellenoptischen Grundlagen sind die Maxwellschen Gleichungen, denen sich strahlenoptische Grundlagen anfügen. Danach werden die LWL-Typen und die Prinzipien der Lichtausbreitung in ihnen beschrieben. Realisierungsmöglichkeiten von optischen Sendern und Empfängern einschließlich ihrer Schaltungstechnik behandeln die Kap. 3 und 4.
Die Modulation optischer Signale (Kap. 5) und Aufbau und Eigenschaften von LWL (Kap. 6) schließen sich an. Dem wesentlichen Gebiet der optischen Verbindungen, Verzweigungen und Schaltern ist das Kap. 7 gewidmet. Systementwurf (Kap. 8) und Messungen in der LWL-Technik (Kap. 9) schließen sich logisch an. Das Kap. 10, Anwendungsbeispiele des Einsatzes von LWL in der Meß- und Automatisierungstechnik, wird viele Leser interessieren. Hier werden Anwendungen von optischen Sensoren ebenso beschrieben wie die Einsätze bei Freileitungen für Hochspannung und in Computernetzen.
Abschließend wird ein optimistischer Ausblick für die Anwendung der Lichtwellenleitertechnik in den angeführten Fachgebieten (Kap. 11) gegeben.
Ein umfangreiches Literaturverzeichnis gibt auch Lesern Hinweise, die zur Lösung ihrer Probleme weitergehende Informationen benötigen.
Ein interessantes und notwendiges Buch zur Erschließung des Fachgebietes der LWL-Technik und ihres Einsatzes in der Energie- und Automatisierungstechnik.

B 2201 *H. Fuchs*

Einheiten Maßsysteme SI. 5., bearbeitete Auflage. Von *D. Bender* und *E. Pippig*. Berlin: Akademie-Verlag 1986. 227 Seiten, 15 Bilder, 5 Tafeln 12,50 M.

Wenn von einem Buch, das 1973 erstmals erschienen ist, inzwischen die 5. Auflage vorliegt und es trotzdem in den vergangenen Jahren meistens vergriffen war, so ist die Frage nach seiner Wichtigkeit damit wohl bereits beantwortet. Wer sachkundigen Rat in einer Frage zu physikalischen Größen und/oder Einheiten sucht, greift i. allg. zuerst nach dem „*Bender/Pippig*". Dabei zeigt sich immer wieder, daß dieses Buch den Forderungen, die man an eine Publikation dieses Umfangs hinsichtlich einer zuverlässigen und möglichst erschöpfenden Information stellen kann, vollauf gerecht wird. Auch der Aufbau und die Art der Darstellung haben sich ganz offensichtlich als so zweckmäßig erwiesen, daß über die verschiedenen Auflagen hinweg kaum etwas daran geändert werden mußte. Da dieses Buch den interessierten Fachkollegen daher sicherlich nicht mehr ausdrücklich empfohlen werden muß und auch sein Inhalt weitgehend als bekannt vorausgesetzt werden darf, sei im folgenden lediglich auf einige wichtige Punkte hingewiesen, in denen sich die Neuauflage von den vorhergehenden unterscheidet.
Von den mehr als 50 ergänzten, geänderten oder präzisierten Textstellen seien hier als Beispiele vor allem die neuen Definitionen für die Basiseinheiten Meter und Candela erwähnt. Selbstverständlich mußte damit auch auf die andersartigen fundamentalen Darstellungen dieser Einheiten eingegangen werden, aber auch zur Darstellung bzw. Reproduzierung anderer Einheiten, wie Volt, Ampere, Ohm, Farad und Kelvin gibt es neue Erkenntnisse, die im Text berücksichtigt wurden. Eine Reihe von anderen Ergänzungen und Änderungen betrifft die weiterentwickelten Auffassungen zu einigen Einheiten bzw. Einheitenzeichen, z. B. zu Radiant und Steradiant, Sievert und Rem (für die Äquivalentdosis), °S bei der Internationalen Zuckerskale, dB und Np, zum hPa in der Meteorologie und zum r als Einheitenzeichen für Umdrehungen. Zu erwähnen ist schließlich noch, daß die Verfasser von Anbeginn an bestrebt waren, die teilweise diametral diskutierten Probleme der Terminologie erläuternd darzustellen und durch fundierte eigene Meinungen einer Klärung näherzubringen. Dieses Bemühen kommt auch in der Neuauflage zum Ausdruck; als Beispiel sei hier auf die Präzisierung bzw. Neuaufnahme der Termini Grund- oder Basiseinheiten, Primär- und Sekundärnormal, Etalonsystem, Reproduzierung einer Einheit, Größenklasse und Dimension sowie ...faktor, ...koeffizient bzw. ...zahl verwiesen, bei denen sich die Autoren bemühen, eine einheitliche Anwendung zu fördern.
Als eine Gebrauchswerterhöhung dieses Buches wird sicherlich von vielen Nutzern auch das neu aufgenommene Abkürzungsverzeichnis empfunden werden, das sich auf die verschiedenen Organisationen bezieht, die in der Metrologie eine Rolle spielen, wie OIML, BIML und CIPM. Mit der 5. Auflage wurde diese wichtige Publikation also wieder auf den neuesten Stand gebracht und wird damit ihre Aufgabe als aktueller Ratgeber auf dem Gebiet der Größen und Einheiten weiterhin zuverlässig erfüllen können.

B 2198 *H. Hart*

Nach dem Willen des Zufalls. Von *L. Rastrigin*. Moskau: Molodaja gvardija 1986. 208 Seiten.

Der international bekannte sowjetische Wissenschaftler, Prof. *Rastrigin*, widmet den populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen große Aufmerksamkeit. So sind von den 20 von ihm veröffentlichten Büchern 7 populärwissenschaftlicher Natur. Ein Gespräch über den Zufall, das bereits in der Veröffentlichung „Diese zufällige, zufällige, zufällige Welt" begonnen wurde, setzt der Autor in diesem Buch in der ihm eigenen Art fort. Dabei kommt er mit dieser Publikation dem Forschungsgegenstand der von ihm geleiteten Rigaer Schule zu stochastischen Suchverfahren wesentlich näher. In geschickter Weise wird der Leser bis zur Anwendung des Zufalls bei der Optimierung und Adaption komplizierter Systeme und bei der Lösung komplizierter Aufgaben der modernen Wissenschaft geführt.
Ausgehend von verschiedenen Modellen des Zufalls (Unkenntnis, Unvermögen, Unschärfe, Molekularbewegung, Rauschen, Pseudozufall, Instabilität u. a.) behandelt der Autor die zielgerichtete Einführung des Zufalls in die wissenschaftliche Tätigkeit, d. h. die Randomisierung sowie schließlich die Monte-Carlo-Methode und Grundlagen der Simulation. Von eigenständiger Bedeutung ist die Behandlung des Zufalls in schöpferischen Prozessen, und zwar bei der formalisierten Ermittlung von Gesetzmäßigkeiten und Erfindungen. Entsprechenden Umfang erhalten Grundlagen stochastischer Suchverfahren, d. h. die Anwendung des Zufalls zur Ermittlung des Optimums sowie zur Anpassung.
Abschließend werden derartige Prozesse in der lebenden Natur, d. h. die Evolution, untersucht.

B 2226 *J.-A. Müller*

KURZFASSUNGEN

Zipser, L.; Franke, K.:

Zur Bildaufnahme in der Meßmikroskopie

msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 290—294

In einer Übersicht werden Bildaufnahmeverfahren der Meßmikroskopie für geometrische, elektrische und andere quantitative Meßgrößen kleinster Objekte vorgestellt, ihre Leistungsgrenzen abgeschätzt und Anwendungsmöglichkeiten genannt. Die Verfahren basieren auf lichtoptischen, elektronenoptischen, akustischen und thermischen Effekten sowie auf Röntgenstrahlen und Tunnelelektronen.

Habiger, E.; Hammer, V.:

Ein CAD-System für speicherprogrammierbare industrielle Steuerungen

msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 295—301

Ausgehend von der Grundstruktur eines die Programmierung, Inbetriebnahme, Dokumentation und Programmarchivierung unterstützenden CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) werden die aus volkswirtschaftlicher Sicht interessierenden effektivitätsbestimmenden Kriterien für ein solches System herausgearbeitet, das Konzept einer ersten Ausbaustufe vorgestellt und an einfachen Beispielen die praktische Anwendung demonstriert.

Müller, J.-A.:

Auswahl von Modellen optimaler Kompliziertheit

msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 302—306

Die Effektivität der experimentellen Systemanalyse kann durch rechnerunterstützte Modellauswahl erhöht werden. Aus der Menge der Modellbeschreibungen werden Teilmengen mit abnehmender Kompliziertheit gebildet. Die Auswahl erfolgt durch Bestimmung des Optimums innerhalb der Teilmenge und des globalen Optimums. Im Beitrag werden verschiedene quadratische Auswahlkriterien (mit und ohne Aufteilung der Beobachtungen) mit unterschiedlicher A-priori-Information zusammengestellt und verglichen. Allen diesen Auswahlkriterien ist gemeinsam, daß sich mit wachsendem Rauscheinfluß die optimale Kompliziertheit verringert.

Gola, K.:

Probleme der Signalfensterung bei der schnellen Fourier-Transformation

msr Berlin 30 (1987) 7, S. 306—309

Meßgeräte zur Ermittlung des spektralen Gehalts zeitabhängiger Signale verwenden den Algorithmus der schnellen Fourier-Transformation (FFT), einer speziellen Form der diskreten Fourier-Transformation (DFT). Diskretisierung und endliches Beobachtungsintervall verfälschen die Ergebnisse. Der letztgenannte Einfluß kann Spektralkomponenten vortäuschen, die im Meßsignal nicht vorhanden sind. Die geeignete „Fensterung" des Signals verringert oder beseitigt u. U. diese Fehler.

Kabitzsch, K.:

Mikrorechner PCC 5/21 zur Prozeßführung eines Netzbanddurchlaufbackofens

msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 310—313

Der Beitrag beschreibt Geräte- und Softwarekonzept des zur Automatisierung eines neuen Ofentyps entwickelten Rechnersystems. Ausgehend von technologischen, konstruktiven und ergonomischen Vorgaben werden seine regelungs-, steuerungs- und leittechnischen Funktionen vorgestellt.

Möller, B.; Schulz, P.:

Praktische Untersuchungen zur kontinuierlichen Temperaturmessung in Stahlschmelzen

msr, Berlin 30 (1987) 7, S. 313—317

Ergebnisse von Untersuchungen zu einem bisher wenig beachteten Wirkprinzip zur kontinuierlichen Temperaturmessung in Stahlschmelzen unter Ausnutzung der relativ hohen Thermospannung an einem Halbleiter und an einem Halbleiter-Metall-Kontakt mit der Schmelze als leitende Brücke werden vorgestellt. Der erste Teil behandelt die experimentelle Klärung grundsätzlicher Fragen. Anschließend wird über Versuche unter schrittweise gesteigerten Einsatzbedingungen mit der Orientierung auf den Einsatzfall „Lichtbogenofen" berichtet.

РЕЗЮМЕ

Zipser, L.; Franke, K.:

О получении изображения в области измерительной микроскопии

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 290—294

Показан обзор о методах получения изображения в области измерительной микроскопии для геометрических, электрических и количественных измеряемых величин самых маленьких объектов, оценены их пределы мощности и указаны возможности применения. Методы основаны на светооптических, электроннооптических, акустических и термических эффектах, а также на рентгеновских лучах и туннельных электронах.

Habiger, E.; Hammer, V.:

Система автоматического проектирования программируемых промышленных управлений

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 295—301

Исходя из основной структуры системы автоматического проектирования, поддерживающей программирование, ввод в эксплуатацию, документацию и архивизацию программ для программируемых управлений разрабатываются для такой системы критерии, интересные с точки зрения народного хозяйства и определяюшие эффективность. Представлен концепт первой расширяющей ступени и продемонстрировано практическое применение на простых примерах.

Müller, J.-A.:

Выбор моделей оптимальной сложности

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 302—306

Эффективность экспериментального анализа систем может быть повышена при применении вычислительной машины. Из множества описаний моделей образованы подмножества с убывающей сложностью. Выбор производится определением оптимума внутри подмножества и глобального оптимума. В статье обобщены различные квадратные критерии выбора (с разделением наблюдений и без него) с различной а-приори-информацией и сравнены друг с другом. Общим для всех критерий выбора является то, что с ростом влияния шума уменьшается оптимальная сложность.

Gola, K.:

Проблемы скапирования сигналов при быстрой трансформанте Фурье

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 306—309

Измерительные приборы для определения спектрального содержания времязависимых сигналов используют алгоритм быстрой трансформанты Фурье, специальной формы дискретной трансформанты Фурье. Дискретизирование и конечный интервал наблюдения искажают результаты. Последнее влияние может симулировать спектральные составляющие, не существующие в измерительном сигнале. Подходящее скапирование сигнала в определенных условиях уменьшает или устраняет эти ошибки.

Kabitzsch, K.:

Микровычислитель PCC 5/21 управления процессом хлебной печи с конвейерной сетелентой

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 310—313

В статье описан концепт аппаратурного и математического обеспечения вычислительной системы, разработанной для автоматизации нового типа печи. Исходя из технологических, конструктивных и эргономических заданий представлены ее функции в области техники регулирования, управления и направления.

Möller, B.; Schulz, P.:

Практические исследования непрерывного измерения температуры в плавках стали

msr, Berlin 30 (1987) 7, стр. 313—317

Указаны результаты исследований по принципу действия, мало принимающему во внимание до сих пор, в области непрерывного измерения температуры в плавках стали при использовании относительно высокого термонапряжения на полупроводнике и на полупроводниковом металлическом контакте со плавкой как проводящий мост. Первая часть рассматривает экспериментальное выяснение принципиальных вопросов. Затем доложено об опытах с постепенно повышенными условиями применения с ориентацией на случай применения „дуговой печи".

SUMMARIES

Zipser, L.; Franke, K.:

On Image Recording in Measuring Microscopy

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 290—294

The authors summarize image recording methods of the measuring microscopy for geometrical, electrical and other quantitative measurement quantities of very small objects, estimate their performance limits and point out possibilities for application. The methods are based upon optical, electro-optical, acoustical and thermal effects as well as X-rays and tunnel electrons.

Habiger, E.; Hammer, V.:

A CAD System for Programmable Industrial Controls

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 295—301

Starting from the basic structure of a CAD system provided for programmable controls and supporting the programming, putting into service, documentation, and maintaining the program archives the authors elaborate the criteria of such a system determining the efficiency from the point of view of economics, present the concept of the first system version and demonstrate its practical application by means of simple examples.

Müller, J.-A.:

Selection of Optimal Complexity Models

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 302—306

The efficiency of the experimental systems analysis can be increased by computer-aided model selection. From the set of model descriptions partial sets with decreasing complexity are established. The selection is carried out by determining the optimum within the partial set as well as the global optimum. The authors summarize different quadratic selection criteria (with and without partition of the observations) with different a priori information and compare one with the other. These selection criteria are characterized by the fact that the optimal complexity reduces with increasing noise influence.

Gola, K.:

Problems of Signal Windowing with the Fast Fourier Transform

msr, Berlin 30 (1987) 7, p. 306—309

Measuring devices for the determination of the spectral content of time-dependent signals use the algorithm of the fast Fourier transform being a special form of the discrete Fourier transform. The discretization and the finite observation interval falsify the results. The latter influence may pretend spectral components not contained in the measuring signal. A suited signal windowing possibly reduces or eliminates these errors.

Kabitzsch, K.:

The Microcomputer PCC 5/21 for Controlling a Continuous Belt Oven

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 310—313

The author describes the hardware and software concept of a computer system developed for the automation of a new oven type. From the technological, constructive and ergonomic requirements he develops the control functions.

Möller, B.; Schulz, P.:

Practical Studies for Continuous Temperature Measurement in Steel Melts

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 313—317

The authors present results of studies of an action principle not much considered till now which serves for the continuous temperature measurement in steel melts by using the relatively high thermo-voltage of a semiconductor and a semiconductor-metal contact with the melt as a conducting bridge. The first part of the contribution deals with the experimental study of basic questions. Then it is reported about experiments under conditions of use increased step by step with the orientation to the application case of an arc furnace.

RÉSUMÉS

Zipser, L.; Franke, K.:

Sur la prise d'images dans la microscopie de mesure

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 290—294

Les auteurs résument les méthodes de prise d'image de la microscopie de mesure pour les grandeurs de mesure géométriques, électriques et d'autres sortes, estiment leurs limites de performance et présentent les possibilités d'emploi. Les méthodes sont basées sur les effets optiques, électro-optiques, acoustiques et thermiques ainsi que sur rayons X et électrons tunnel.

Habiger, E.; Hammer, V.:

Un système CAO pour les commandes industrielles programmables

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 295—301

A partir de la structure de base d'un système CAO établi pour les commandes programmables et supportant la programmation, documentation et la gestion des archives de programmes, les auteurs élaborent les critères d'un tel système qui déterminent l'efficacité d'un point de vue économique, présentent la première version de système et démontrent l'emploi pratique à l'aide de simples exemples.

Müller, J.-A.:

La sélection des modèles à complexité optimale

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 302—306

L'efficacité de l'analyse expérimentale des systèmes peut être augmentée par une sélection de modèle assistée par ordinateur. A partir de l'ensemble des descriptions de modèle, on établit des ensembles partiels à complexité décroissante. La sélection est exécutée par la détermination de l'optimum au dedans de l'ensemble partiel ainsi que de l'optimum global. Les auteurs mettent ensemble de différents critères de sélection quadratiques (avec et sans partition des observations) à information a priori différente et comparent l'un avec l'autre. Ces critères sont caractérisés par le fait que la complexité optimale décroît avec l'influence de bruit accroissante.

Gola, K.:

Des problèmes du fenêtrage de signal dans la transformation rapide de Fourier

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 306—309

Les dispositifs de mesure pour la détermination du contenu spectral des signaux dépendant du temps utilisent l'algorithme de la transformation rapide de Fourier étant une forme spéciale de la transformation discrète de Fourier. La discrétisation et l'intervalle d'observation fini falsifient les résultats. La dernière influence peut feindre des composantes spectrales qui ne sont pas contenues dans le signal de mesure. Le propre fenêtrage de signal peut-être réduit ou élimine ces erreurs.

Kabitzsch, K.:

Le micro-ordinateur PCC 5/21 pour la commande d'un four de cuisson à passage

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 310—313

L'auteur décrit les concepts de matériel et de logiciel d'un système à ordinateur développé pour l'automatisation d'un nouveau type de four. A partir des exigences technologiques, constructives et ergonomiques, il présente les fonctions de réglage, de commande et de contrôle.

Möller, B.; Schulz, P.:

Des études pratiques pour la mesure continue de la température dans les fontes d'acier

msr, Berlin 30 (1987) 7, pp. 313—317

Les auteurs présentent les résultats d'études d'un principe d'opération peu considéré jusqu'ici qui sert pour la mesure continue de la température dans des fontes d'acier en utilisant la tension thermo-électrique relativement haute d'un semiconducteur et d'un contact semiconducteur— métal avec la fonte comme pont conduisant. La première partie de la contribution traite l'étude expérimentale des questions de base. Ensuite, ils rapportent d'expériences sous conditions d'emploi pas à pas augmentées avec l'orientation au cas d'emploi du four à arc.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Teorija i ustrojstva sistem avtomatičeskogo upravlenija (Theorie und Anlagen der Systeme der automatischen Steuerung). Mecniereba (GruzSSR). 3. Quart. 1987. NK 86–48 (118).

[2] *Mkrtčjan, L.*: Čelovek, EVM, znanie (Mensch, EDV-Anlage, Wissen). Ajastan (ArmSSR). 3. Quart. 1987. NK 86–48 (119).

[3] *Petrosjan, E.; Povilejko, R.; Filiposjan, S.*: Proektirovanie pul'tov upravlenija s ispol'zovaniem EVM (Projektierung von Steuerpulten unter Verwendung von EDV-Anlagen). Ajastan (ArmSSR). 4. Quart. 1987. NK 86–48 (120).

[4] Metodičeskie materialy i dokumentacii po paketam prikladnych programm. Vyp. Prikladnye protokoly obrabotki informacii v setjach EVM (Methodische Materialien und Dokumentationen zu Anwenderprogrammpaketen. Ausg. Anwenderprotokolle zur Informationsverarbeitung in Rechnernetzen). Meždunar. centr nauč. i tech. informacii. 1. Quart. 1987. NK 86–48 (232).

[5] *Kul'ba, V.; Somov, S.; Šelkov, A.*: Rezervirovanie dannych v setjach EVM (Datenreservierung in Rechnernetzen). Izd-vo Kazan. un-ta. 3. Quart. 1987. NK 86–50 (24).

[6] Nekotorye metody pozicionnogo i programmnogo upravlenija (Einige Methoden der Positions- und Programmsteuerung). Ural'skij nauč. centr UNC. 4. Quart. 1987. NK 86–50 (25).

[7] Upravlenie s garantirovannym rezul'tatom (Steuerung mit garantiertem Ergebnis). Ural'skij nauč. centr. UNC. NK 86–50 (26).

[8] Protivorečivye modeli optimizacii (Widersprüchliche Optimierungsmodelle). Ural'skij nauč. centr. UNC. 2. Quart. 1987. NK 86–50 (29).

[9] Priem i obrabotka informacii v složnych informacionnych sistemach. Vyp. 16 (Empfang und Verarbeitung von Information in komplizierten Informationssystemen. Ausg. 16). Izd-vo Kazan. un-ta. 2. Quart. 1987. NK 86–50 (77).

[10] *Egorova, N.*: Voprosy soglasovanija planovych rešenij s ispol'zovaniem imitacionnych sistem (Fragen der Abstimmung von Planentscheidungen mit Hilfe von Simulationsmodellen). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (67).

[11] Matematičeskoe modelirovanie. Nelinejnye differencial'nye uravnenija matematičeskoj fiziki (Mathematische Modellierung. Nichtlineare Differentialgleichungen der mathematischen Physik). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (112).

[12] Pomechoustojčivoe kodirovanie i nadežnost' EVM (Störstabilität der Kodierung und Zuverlässigkeit der EDV-Anlagen). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (113).

[13] Raspredelennye upravljajuščie i vyčislitel'nye sistemy (Verteilte Steuerungs- und Rechnersysteme). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (114).

[14] Pakety prikladnych programm. Programmnoe obespečenie vyčislitel'nogo eksperimenta (Anwenderprogrammpakete. Programmtechnische Absicherung von Rechnerexperimenten). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (118).

[15] *Sennova, E.; Sidler, V.*: Matematičeskoe modelirovanie i optimizacija razvivajuščichsja teplosnabžajuščich sistem (Mathematische Modellierung und Optimierung sich entwickelnder Wärmeversorgungssysteme). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (252).

[16] EVM massovogo primenenija (EDV-Anlagen der Massenanwendung). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (255).

[17] *Kafarov, V.; Vetochin, V.*: Osnovy avtomatizirovannogo proektirovanija chimičeskich proizvodstv (Grundlagen der automatisierten Projektierung der Chemieproduktion). Nauka. 3. Quart. 1987. NK 86–52 (263).

[18] *Dmitriev, A.; Malcev, P.*: Osnovy teorii postroenija i kontrolja složnych sistem (Grundlagen der Theorie der Entwicklung komplizierter Systeme). Energoatomizdat. 1. Quart. 1988. NK 87–10 (11).

[19] *Franke, M.*: Vvedenie v mikro EVM (Einführung in die Mikrorechner). Energoatomizdat. 1. Quart. 1988. NK 87–10 (12).

[20] *Štejnberg, Š.*: Identifikacija v sistemach upravlenija (Identifikation in Systemen zur Steuerung). Energoatomizdat. 1. Quart. 1988. NK 87–10 (13).

[21] *Semernja, I.*: Distancionnoe upravlenie kranami (Distanzsteuerung von Kränen). Energoatomizdat. 4. Quart. 1988. NK 87–10 (174).

[22] Upravlenie energosistemami (Steuerung von Energiesystemen). Energoatomizdat. 3. Quart. 1987. NK 87–10 (188).

[23] *Vinogradskaja, S.; Železnov, G.; Malevinskij, G.*: Techničeskoe obsluživanie i remont sredstv avtomatizacii (Technische Bedienung und Reparatur von Automatisierungsmitteln). Energoatomizdat. 1. Quart. 1988. NK 87–10 (204).

[24] *Kafarov, V.; Mešalkin, V.; Gur'eva, L.*: Optimizacija teploobmennych processov i sistem (Optimierung von Wärmeaustauschprozessen und -systemen). Energoatomizdat. 1. Quart. 1988. NK 87–10 (212).

[25] Modelirovanie i avtomatizacija proektirovanija silovych poluprovodnikovych priborov (Modellierung und Automatisierung der Projektierung von Halbleiterverstärkern). Energoatomizdat. 3. Quart. 1988. NK 87–10 (265).

[26] *Byčkov, Ju.; Vasil'ev, Ju.*: Rasčet periodičeskich režimov v nelinejnych sistemach upravlenija (Berechnung periodischer Regime in nichtlinearen Steuerungssystemen). Energoatomizdat. 2. Quart. 1988. NK 87–10 (269).

msr 8704

messen · steuern · regeln

Herausgeber: Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Verlag: VEB Verlag Technik. Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd

Verlagsdirektor: Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*

Redaktion: Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362)
Dr.-Ing. *Jürgen Wede*, Redakteur (Telefon: 2870374)

Gestaltung: *Karen Wohlgemuth* (Telefon: 2870288)

Lizenz-Nr.: 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

AN (EDV): 15936

Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft

Heftpreis: 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

Erfüllungsort und Gerichtsstand: Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.

Bezugsmöglichkeiten:

DDR: sämtliche Postämter

SVR Albanien: Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandititi te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana

VR Bulgarien: Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

VR China: China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

ČSSR: PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlače, Posta 022 88547 Bratislava

SFR Jugoslawien: Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb

Koreanische DVR: CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

Republik Kuba: Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

VR Polen: C.K.P. i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

SR Rumänien: D.E.P. București, Piața Scienteii, București

UdSSR: Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

Ungarische VR: P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest

SR Vietnam: XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

BRD und Berlin (West): ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

Österreich: Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

Schweiz: Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich

Alle anderen Länder: örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

Abnahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Abnahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Bertiebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (S. 28) messen · steuern · regeln 1987 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Internationales Messesymposium „Rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ"

In der Zeit vom 17. bis 19. März 1988 veranstaltet die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik der DDR anläßlich der Leipziger Frühjahrsmesse 1988 ein internationales Messesymposium „Rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ".
Das Symposium vermittelt umfassende Informationen über Stand und Perspektive der wissenschaftlich-technischen Entwicklung auf dem Gebiet der rechnergestützten Qualitätssicherung CAQ.
Ziel des Symposiums ist der wissenschaftlich-technische Meinungsaustausch zur Paßfähigkeit der rechnergestützten Qualitätssicherung und Meßtechnik in CAD/CAM-Systemen und zur objektivierten Erfassung und Verarbeitung qualitätsbestimmender Informationen.
Neben den Vorträgen und Diskussionen wird eine organisierte Messeführung durchgeführt.
Auf dem Vortragsprogramm stehen Beiträge zu den inhaltlichen Schwerpunkten der rechnergestützten Qualitätssicherung auf den Gebieten der
- Forschung
- Entwicklung
- Konstruktion
- Fertigungsvorbereitung
- Fertigungstechnik
- Montage
- Meß- und Prüftechnik
- Ökonomie

sowie zu Anwendungen der Qualitätssicherung in automatisierten Prozessen der
- Fertigungstechnik
- Verfahrenstechnik
- Landwirtschaft
- Verwaltungstechnik
- Medizintechnik
- Labor- und Forschungstechnik.

Vortragsmeldungen sind noch bis zum 31. Juli 1987 möglich.
Anfragen sind zu richten an:
Kammer der Technik
— WGMA —
Postfach 1315
Berlin
1086
Tel.: 2202531

DIS '88

Vom 27. Juni bis zum 1. Juli 1988 findet in Varna/VR Bulgarien das internationale IFAC-Symposium „Distributed Intelligence Systems — Methods and Applications" statt. Ziel des Symposiums ist die Darstellung des Entwicklungsstandes von Systemen mit verteilter Intelligenz.
Schwerpunkte sind:

A Methoden für die Synthese von Steuerungssystemen mit verteilter Intelligenz und ihre Anwendung
- dezentrale und Mehrebenensteuerungssysteme mit verteilter Intelligenz und ihre Anwendung
- Simulation, Aggregation und Modellreduktion von dezentralisierten und Mehrebenensteuerungssystemen
- robuste und fehlertolerante Systeme
- technische Systeme für Wissensverarbeitung mit verteilter Struktur in Diagnose, Überwachungs- und Sicherheitssystemen

B Computerstrukturen und Netze für die Realisierung von Systemen mit verteilter Intelligenz
- Strukturen verteilter Steuerungssysteme, Computernetze, wissens- und datenbasierte Systeme und ihr Softwareentwurf
- Computersysteme für automatisierte Überwachung und Kontrolle
- Mensch-Maschine-Probleme
- Zuverlässigkeit

C Anwendungen von Systemen mit verteilter Intelligenz
- Energiesysteme (thermisch, nuklear usw.), elektrische Versorgungssysteme, alternative Energiesysteme
- Transport, Ressourcen- und ökologische Systeme
- technologische Prozesse
- Managementsysteme
- Büroautomatisierung, automatische Fertigungssysteme.

Vortragsmeldungen sind noch möglich!
Anfragen sind zu richten an:
Präsidium der Kammer der Technik
WGMA
PSF 1315
Berlin
1086
Telefon: 2202531, App. 318.

Feuchte '88

Für Oktober 1988 wird die 3. Fachtagung „Feuchtemeßtechnik" von der KDT Suhl in Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Ilmenau vorbereitet.
Ziel dieser Veranstaltung ist es, neue Entwicklungstendenzen, -ergebnisse und Anforderungen industrieller Anwender auf dem Gebiet der Feuchtemeßtechnik vorzustellen.
Die Tagung wird sich mit 3 grundlegenden Themenkreisen befassen:
1. Allgemeine Fragen, Definitionen und Grundlagenprobleme der Feuchtemeßtechnik
2. Verfahren, Methoden und Sensoren der Gasfeuchtemessung
3. Verfahren, Methoden und Sensoren der Feststoffeuchtemessung.

Dabei steht die Nutzung moderner Schlüsseltechnologien zur Herstellung von Feuchtesensoren und die Sensorsignalverarbeitung durch Mikrorechner im Vordergrund.
Neben den Vortragsreihen sind Postervorträge geplant. In einem Rundtischgespräch wird über aktuellen Stand und Entwicklungstendenzen zur „Feuchtemeßtechnik" beraten.
Vortragsmeldungen bitte bis zum 31. Oktober 1987 an
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Gerätetechnik
Doz. Dr. sc. techn. *Dirk Heinze*
Postfach 327
Ilmenau
6300
Teilnahmewünsche sind an die
Kammer der Technik
Bezirksverband Suhl
Bereich WT
Str. d. OdF 29
Suhl
6000
zu richten.

Entwurfsprogramm für Regelungssysteme

Am Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme der Universität Karlsruhe wurde zum systematischen Entwurf von Regelungssystemen das Programmsystem PILAR (Programm-Module zur interaktiven Lösung von Aufgabenstellungen der Regelungstechnik) entwickelt. Das Programmsystem zur Lösung von Standardproblemen ist auf kleine bis mittlere Rechner zugeschnitten. Die Lösung eines Gesamtproblems geschieht durch sequentiellen Aufruf verschiedener Module, die ohne Zutun des Benutzers die erforderlichen Daten über den Massenspeicher austauschen.
Mit PILAR können verschiedene Probleme im Vorfeld der Automatisierung bearbeitet werden, z. B. Analyse der Regelstrecke, Linearisierung eines nichtlinearen mathematischen Modells, Simulation des dynamischen Verhaltens mit und ohne Regler. Das Modulkonzept ist trotz hoher Flexibilität einfach in der Handhabung und befähigt den Benutzer, zahlreiche Standardprobleme ohne Programmier- oder Betriebssystemkenntnisse zu lösen und die gewonnenen Ergebnisse grafisch darzustellen.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 30 (1987) 7, S. 289—336